Environment Canada Environnement Canada

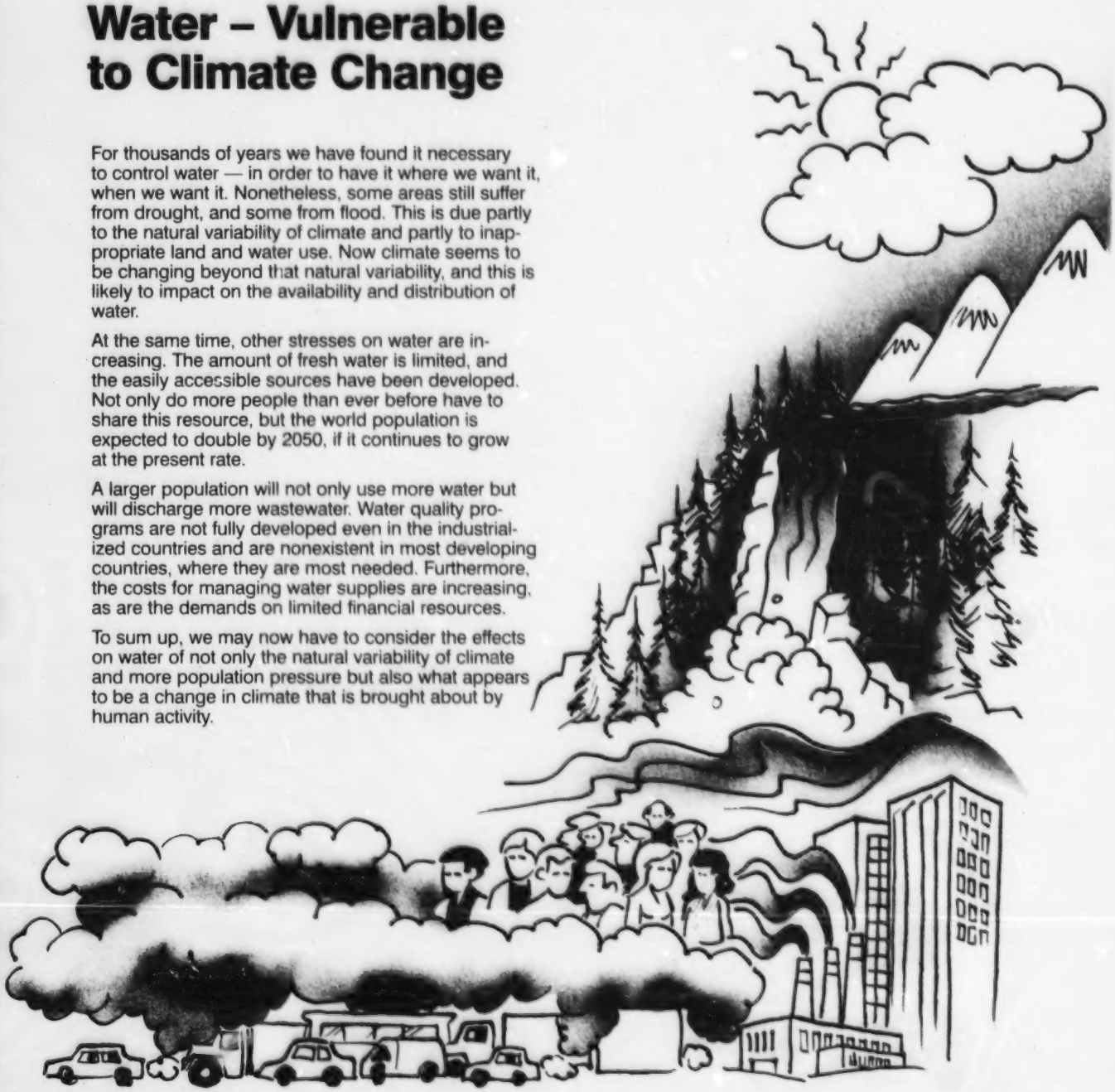
Water – Vulnerable to Climate Change

For thousands of years we have found it necessary to control water — in order to have it where we want it, when we want it. Nonetheless, some areas still suffer from drought, and some from flood. This is due partly to the natural variability of climate and partly to inappropriate land and water use. Now climate seems to be changing beyond that natural variability, and this is likely to impact on the availability and distribution of water.

At the same time, other stresses on water are increasing. The amount of fresh water is limited, and the easily accessible sources have been developed. Not only do more people than ever before have to share this resource, but the world population is expected to double by 2050, if it continues to grow at the present rate.

A larger population will not only use more water but will discharge more wastewater. Water quality programs are not fully developed even in the industrialized countries and are nonexistent in most developing countries, where they are most needed. Furthermore, the costs for managing water supplies are increasing, as are the demands on limited financial resources.

To sum up, we may now have to consider the effects on water of not only the natural variability of climate and more population pressure but also what appears to be a change in climate that is brought about by human activity.



M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

Micromedia
ProQuest

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

What makes climate?

The climate of a place is the average over a number of years of the day-to-day variations in temperature, precipitation, cloud cover, wind and other atmospheric conditions that normally occur there. Climate also includes the variability of individual climate elements, such as temperature and precipitation, and the frequency with which various weather conditions occur. In other words, climate is the combination of average weather conditions and weather patterns over time for a particular location.

The climate of the earth is a balanced system of interconnected, interacting elements powered by incoming energy from the sun. The main factors affecting climate can be distinguished as either internal or external processes. The internal processes include the circulation of the air and currents of the ocean; the effects of clouds and large masses of snow and ice; the influence of topography, surface soils and vegetation; the impact of processes and activities within the biosphere; and regional, seasonal and daily difference in solar heating. The external factors are solar energy output, atmospheric composition, land features, and ocean characteristics.

Global scale climatic changes occur when the balance between the rate at which energy enters or leaves the global climate system is upset by changes in one or more of its major elements. Possible primary causes for such changes include variations in the aerosol and gaseous content of the atmosphere, changes in the reflective properties of the earth's surface, and alterations in the intensity of sunlight reaching the earth's surface. Complex reactions in other factors are likely as the system adjusts to establish a new balance of input and output energy. Positive feedback refers to the reactions by climatic factors that increase the initial change, such as additional surface warming due to reduced reflected radiation by less snow cover. Negative feedback by other factors would oppose and partially offset change, such as storage by oceans of excess atmospheric heat caused by increased greenhouse gas concentrations.

The change in climate expected within the next four or five decades is believed to be a result of mainly human activities that are causing changes in atmospheric composition (increasing greenhouse gases and aerosols) and changes in land features (reducing natural vegetation).

Source: Henry Hengeveld, March 1995, "Understanding Atmospheric Change", (A State of the Environment (SOE) Report No. 95-2), Atmospheric Environment Service, Environment Canada (pp. 13-18).

How do scientists figure out how climate will change?

How can scientists predict the effects of long-term climate change, when predicting daily weather is still a difficult task? Local variability is what makes weather forecasting seem imperfect; such site-specific and detailed forecasts are not even attempted by climate change models.

There are two main means of predicting possible climate change: one involves working out analogues from past climatic and hydrometric records; the other, much more commonly used, uses *mathematical simulations* of climate (on computer programs) known as general circulation models or global climate models (GCMs).

How might the climate change?

Overall, results from the GCMs suggest that:

- The greatest increases in temperature will occur in the high latitudes, in winter, and over land.
- The results concerning precipitation are less clear; changes are likely to vary according to the region.
- Sea level is likely to rise, possibly by an average rate of about 5 cm per decade over the next 100 years, primarily due to the thermal expansion of water (steric expansion) and the melting of glaciers. There may be significant regional variations caused by the rise and fall of land masses.
- In addition, evidence suggests that extreme weather events (droughts, storms, floods, forest fires, ice jams, etc.) will be more frequent and more severe. This will have, and indeed may already be having, serious effects on Canadian ecosystems, including economic and social impacts, to which Canadians will have to adapt. While these pages focus on the nature and effects of long-term temperature trends as predicted by the GCMs, the potential effects of increasing extreme events are more fully considered in other Environment Canada publications.

How will these changes affect our water supply in general?

GCMs simulating a climate that is based on a doubling of CO_2 suggest a global mean increase in precipitation and evaporation of between 3 and 15%. Yet the more useful information, i.e., the location and timing of these changes, is still uncertain.

There are general indications that:

- the present mid-latitude rain belt would shift northward;
- snowmelt and spring runoff would occur earlier than at present;
- evapotranspiration would be greater, as it would start earlier and continue longer;
- the interior continental region in the Northern Hemisphere will, in general, experience drier summers.

102 06023

More about analogues and GCMs

Analogues

Climatic analogues are developed by choosing warmer-than-average years from the historical record and identifying what conditions were like, to get an idea of the likely effects of global warming. The limitation of this method is that our relatively short period of climatic data does not represent conditions that may come with future climate change, for example, unprecedented long-term increases in temperature, particularly in wintertime.

GCMs

The GCMs simulate atmospheric circulation, the energy exchanges, and other important land/ocean/atmosphere interactions. However, they cannot as yet model well other small-scale processes, such as biological processes, precipitation and cloud cover. These processes have significant effects on the water resource.

GCMs usually project climate over several decades to more than a century ("climate" being based on average weather conditions over 10 years or more), but give only large-scale predictions, not the regional ones needed for planning. This is because grid spacing in most GCMs is between 2 and 5 degrees of longitude or latitude and it takes several grid distances to simulate a physical feature.

The predictions are complicated by difficulty in simulating the lags in the meteorological system, especially in the oceans; the effects of low cloud versus high cloud, and amounts of each; and temporary effects due to solar variability and airborne ash from volcanic eruptions, such as that of Mount Pinatubo.

Also difficult to predict are the results of the *interactions* of cloud cover, soil moisture, vegetation, and ice. How any one of these factors might react to a warmer climate is difficult to predict; when reactions from several such factors might interact, the uncertainty is magnified.

To improve predictions, we need computers with more computing capability. We also need more data on and understanding of the processes affecting climate. These would help us to build more accurate models and to validate model results against observed or measured processes.

To sum up, analogues and GCMs *do not* accurately predict actual future climate; but they can give us some basis for preparing for the future.

How might these changes affect Canada?

Researchers, through the use of GCMs and other methods, develop "scenarios" of possible future climates of a region. These scenarios are then applied to the ecosystem or economic region to determine how it would be affected by climate change. Impacts of climate change are expected to be greater in some regions than in others; these have been looked at in greater detail. At the same time, it must be noted that there is greater uncertainty for scenarios at the regional scale than at the global one.

One such investigation is based upon an ecological framework that expresses regional climate through the development of vegetation and soils **(Map 1)**. The underlying premise is that if all factors are held constant in sites that are affected by extremes, the vegetation and soil development over time will reflect the influence of climate. Using the data generated by a general circulation model for doubled atmospheric CO_2 concentrations (i.e., a possible future climate), a scenario was generated illustrating how the location and quantity of existing ecosystems might change with time **(Map 2)**.

As Canada is a large land mass in the northern mid to high latitudes, its interior is expected to experience a larger than average increase in temperature and a decrease in summer soil moisture. The north would have a greater increase in winter temperatures and more precipitation than now, particularly in winter.

Pacific coast

A rise in sea level would threaten low-lying coastal lands, such as the Fraser River delta, with possible increases in flooding and erosion. The increased precipitation considered likely in winter could promote landslides and local flooding.

Warmer river temperatures could cause severe pre-spawning mortality in some fish that go up rivers to spawn (anadromous), such as the Pacific salmon. However, warmer ocean temperatures could create favourable conditions for species such as tuna, hake, and squid to migrate from the south.

West Coast forest ecosystems could become more stressed as a warmer climate allowed insect pests and disease to migrate northward. Forests in the drier areas would become more vulnerable to fire.

Prairie provinces

The Prairies, the breadbasket of Canada, already suffer from periodic drought, especially in the south. With higher temperatures and increased evapotranspiration, drought would probably become more frequent. An increase in irrigation, if water was available, could bring more soluble salts to the surface, degrading the soil.

With a warmer climate, agriculture could move northward, into more humid (although still dry) areas. The poor northern soils would be more likely to limit its northern expansion than climate. Conflict between agricultural and industrial or aboriginal interests

What makes climate?

The climate of a place is the average over a number of years of the day-to-day variations in temperature, precipitation, cloud cover, wind and other atmospheric conditions that normally occur there. Climate also includes the variability of individual climate elements, such as temperature and precipitation, and the frequency with which various weather conditions occur. In other words, climate is the combination of average weather conditions and weather patterns over time for a particular location.

The climate of the earth is a balanced system of interconnected, interacting elements powered by incoming energy from the sun. The main factors affecting climate can be distinguished as either internal or external processes. The internal processes include the circulation of the air and currents of the ocean; the effects of clouds and large masses of snow and ice; the influence of topography, surface soils and vegetation; the impact of processes and activities within the biosphere; and regional, seasonal and daily difference in solar heating. The external factors are solar energy output, atmospheric composition, land features, and ocean characteristics.

Global scale climatic changes occur when the balance between the rate at which energy enters or leaves the global climate system is upset by changes in one or more of its major elements. Possible primary causes for such changes include variations in the aerosol and gaseous content of the atmosphere, changes in the reflective properties of the earth's surface, and alterations in the intensity of sunlight reaching the earth's surface. Complex reactions in other factors are likely as the system adjusts to establish a new balance of input and output energy. Positive feedback refers to the reactions by climatic factors that increase the initial change, such as additional surface warming due to reduced reflected radiation by less snow cover. Negative feedback by other factors would oppose and partially offset change, such as storage by oceans of excess atmospheric heat caused by increased greenhouse gas concentrations.

The change in climate expected within the next four or five decades is believed to be a result of mainly human activities that are causing changes in atmospheric composition (increasing greenhouse gases and aerosols) and changes in land features (reducing natural vegetation).

Source: Henry Hengeveld, March 1995, "Understanding Atmospheric Change", (A State of the Environment (SOE) Report No. 95-2), Atmospheric Environment Service, Environment Canada (pp. 13-18).

How do scientists figure out how climate will change?

How can scientists predict the effects of long-term climate change, when predicting daily weather is still a difficult task? Local variability is what makes weather forecasting seem imperfect: such site-specific and detailed forecasts are not even attempted by climate change models.

There are two main means of predicting possible climate change: one involves working out analogues from past climatic and hydrometric records; the other, much more commonly used, uses *mathematical simulations* of climate (on computer programs) known as general circulation models or global climate models (GCMs).

How might the climate change?

Overall, results from the GCMs suggest that:

- The greatest increases in temperature will occur in the high latitudes, in winter, and over land;
- The results concerning precipitation are less clear; changes are likely to vary according to the region;
- Sea level is likely to rise, possibly by an average rate of about 5 cm per decade over the next 100 years, primarily due to the thermal expansion of water (steric expansion) and the melting of glaciers. There may be significant regional variations caused by the rise and fall of land masses.
- In addition, evidence suggests that extreme weather events (droughts, storms, floods, forest fires, ice jams, etc.) will be more frequent and more severe. This will have, and indeed may already be having, serious effects on Canadian ecosystems, including economic and social impacts, to which Canadians will have to adapt. While these pages focus on the nature and effects of long-term temperature trends as predicted by the GCMs, the potential effects of increasing extreme events are more fully considered in other Environment Canada publications.

How will these changes affect our water supply in general?

GCMs simulating a climate that is based on a doubling of CO_2 suggest a global mean increase in precipitation and evaporation of between 3 and 15%. Yet the more useful information, i.e., the location and timing of these changes, is still uncertain.

There are general indications that:

- the present mid-latitude rain belt would shift northward;
- snowmelt and spring runoff would occur earlier than at present;
- evapotranspiration would be greater, as it would start earlier and continue longer;
- the interior continental region in the Northern Hemisphere will, in general, experience drier summers.

More about analogues and GCMs

Analogues

Climatic analogues are developed by choosing warmer-than-average years from the historical record and identifying what conditions were like, to get an idea of the likely effects of global warming. The limitation of this method is that our relatively short period of climatic data does not represent conditions that may come with future climate change, for example, unprecedented long-term increases in temperature, particularly in wintertime.

GCMs

The GCMs simulate atmospheric circulation, the energy exchanges, and other important land/ocean/atmosphere interactions. However, they cannot as yet model well other small-scale processes, such as biological processes, precipitation and cloud cover. These processes have significant effects on the water resource.

GCMs usually project climate over several decades to more than a century ("climate" being based on average weather conditions over 10 years or more), but give only large-scale predictions, not the regional ones needed for planning. This is because grid spacing in most GCMs is between 2 and 5 degrees of longitude or latitude and it takes several grid distances to simulate a physical feature.

The predictions are complicated by difficulty in simulating the lags in the meteorological system, especially in the oceans; the effects of low cloud versus high cloud, and amounts of each; and temporary effects due to solar variability and airborne ash from volcanic eruptions, such as that of Mount Pinatubo.

Also difficult to predict are the results of the *interactions* of cloud cover, soil moisture, vegetation, and ice. How any one of these factors might react to a warmer climate is difficult to predict; when reactions from several such factors might interact, the uncertainty is magnified.

To improve predictions, we need computers with more computing capability. We also need more data on and understanding of the processes affecting climate. These would help us to build more accurate models and to validate model results against observed or measured processes.

To sum up, analogues and GCMs *do not* accurately predict actual future climate; but they can give us some basis for preparing for the future.

How might these changes affect Canada?

Researchers, through the use of GCMs and other methods, develop "scenarios" of possible future climates of a region. These scenarios are then applied to the ecosystem or economic region to determine how it would be affected by climate change. Impacts of climate change are expected to be greater in some regions than in others; these have been looked at in greater detail. At the same time, it must be noted that there is greater uncertainty for scenarios at the regional scale than at the global one.

One such investigation is based upon an ecological framework that expresses regional climate through the development of vegetation and soils **(Map 1)**. The underlying premise is that if all factors are held constant in sites that are affected by extremes, the vegetation and soil development over time will reflect the influence of climate. Using the data generated by a general circulation model for doubled atmospheric CO_2 concentrations, (i.e., a possible future climate), a scenario was generated illustrating how the location and quantity of existing ecosystems might change with time **(Map 2)**.

As Canada is a large land mass in the northern mid to high latitudes, its interior is expected to experience a larger than average increase in temperature and a decrease in summer soil moisture. The north would have a greater increase in winter temperatures and more precipitation than now, particularly in winter.

Pacific coast

A rise in sea level would threaten low-lying coastal lands, such as the Fraser River delta, with possible increases in flooding and erosion. The increased precipitation considered likely in winter could promote landslides and local flooding.

Warmer river temperatures could cause severe prespawning mortality in some fish that go up rivers to spawn (anadromous), such as the Pacific salmon. However, warmer ocean temperatures could create favourable conditions for species such as tuna, hake, and squid to migrate from the south.

West Coast forest ecosystems could become more stressed as a warmer climate allowed insect pests and disease to migrate northward. Forests in the drier areas would become more vulnerable to fire.

Prairie provinces

The Prairies, the breadbasket of Canada, already suffer from periodic drought, especially in the south. With higher temperatures and increased evapotranspiration, drought would probably become more frequent. An increase in irrigation, if water was available, could bring more soluble salts to the surface, degrading the soil.

With a warmer climate, agriculture could move northward, into more humid (although still dry) areas. The poor northern soils would be more likely to limit its northern expansion than climate. Conflict between agricultural and industrial or aboriginal interests

The greenhouse effect is natural, but...

The earth benefits from a certain natural heat-trapping system, the so-called greenhouse effect. The atmosphere allows most solar radiation to come through to the earth's surface, which then heats up and sends radiation back outward. Certain gases in the atmosphere absorb the outward radiation and re-radiate much of it back to earth, keeping it warm, like a greenhouse. This raises the global average temperature to about 15 C; without those gases, the average surface temperature would be about -18°C.

Now, however, human activity has affected the composition of the atmosphere by adding to the greenhouse gases, particularly carbon dioxide. The increase in atmospheric carbon dioxide was first noticed in the nineteenth century. However, regular and accurate measurements were first begun in Hawaii in the International Geophysical Year of 1957-58.

The main greenhouse gases

Carbon dioxide (CO_2)

Human source: Comes mostly from burning fossil fuels (oil, gas, and coal) for electricity and in cars and factories. Also from forest burning.
Annual increase: 0.5%
Life span: 50-200 years

Methane (CH_2)

Human source: Bacterial decomposition of organic matter (without oxygen) in rice paddies, swamps, garbage dumps, and intestines of ruminants like cows and sheep. Also from burning wood, mining coal.
Annual increase: 1%
Life span: 10-12 years

Chlorofluorocarbons (CFCs)

Source: Chemically synthesized for use as coolants in refrigerators and air conditioners. Also in foam insulation, aerosol sprays.
Annual increase: 4%
Life span: up to 10 000 years

Nitrous oxide (N_2O)

Human source: Bacterial reactions in soil and water and from the breakdown of nitrogen-based chemical fertilizers. Also from burning fossil fuels and wood (deforestation).
Annual increase: 0.4%
Life span: 150 years

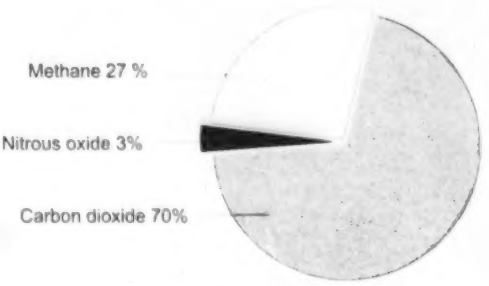
According to studies of Antarctic ice cores, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere remained relatively constant for 10 000 years, until the mid-1800s, at approximately 280 parts per million (ppm). Today that concentration is about 360 ppm and continues to rise.

Among the other greenhouse gases caused by human or anthropogenic activity are low-level ozone, methane, nitrous oxide, and chlorofluorocarbons (CFCs). These gases are found in lower concentrations than carbon dioxide, but they may be more effective in trapping heat. CFCs are some of the most heat absorbant of the greenhouse gases: one CFC molecule may have from 10 000 to 13 000 times the impact of a CO_2 molecule. However, these effects are at least partially offset by surface cooling due to depletion of ozone in the lower stratosphere, also caused by these gases.

Scientists usually estimate that the doubling of pre-industrial levels of atmospheric CO_2, expected by about 2080, would cause an average global warming of two or three degrees Celsius. If they add the effect of the other greenhouse gases, increasing at their present rates, they expect an effective doubling by mid-century.

Water vapour, a natural greenhouse gas and the most abundant one, will also increase with global warming, as warmer temperatures would cause more evaporation and increase the atmosphere's ability to hold moisture.

Contribution of current greenhouse gases emissions to global warming



Note: Man-made greenhouse gases include those manufactured and those released due to processes controlled through human activity (e.g., the burning of fossil fuels). Some greenhouse gases, such as chlorofluorocarbons (CFCs), are entirely man-made, while only a small percentage of others, such as carbon dioxide, are man-made. Although man-made greenhouse gases are a small percentage of the overall total, they are changing the balance.

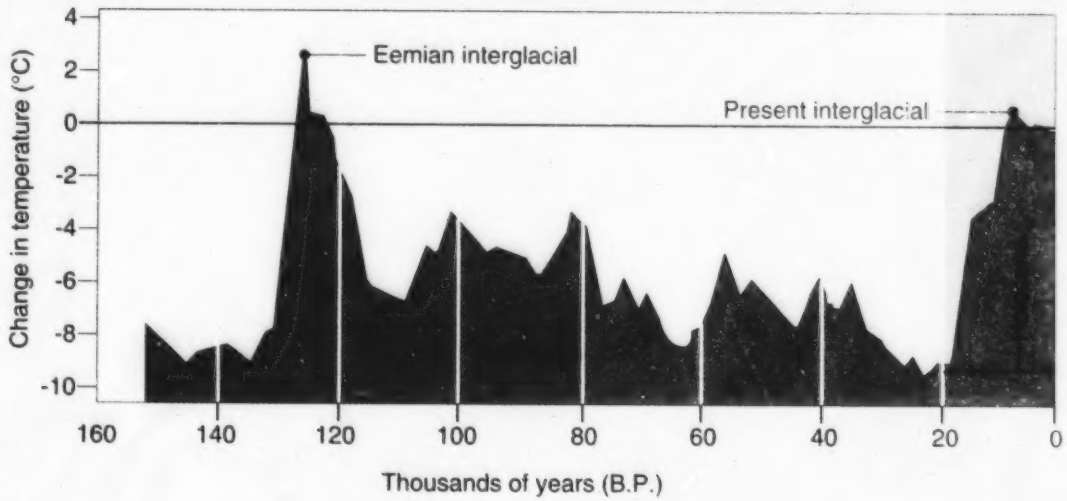
What is global warming?

Although our own climate records cover only about 100 years, we can infer climatic conditions from the pollens found in layers of mud and from the gas bubbles in ice cores bored through major ice sheets (including an ice core from the Antarctic that gives a record going back well over 200 000 years). These ice cores enable scientists to identify correlations between the composition of the atmosphere and regional climatic conditions in the past. Recent and predicted increases in concentrations of greenhouse gases in the atmosphere are expected to cause additional warming of average surface air temperatures.

These increases in greenhouse gas concentrations have been related to human activities such as the burning of fossil fuels and the reduction of forests. Combustion changes the composition of the atmosphere by adding carbon dioxide and other gases. The large-scale destruction of forests releases large amounts of carbon stored in trees and forest soils.

These human-induced changes to the greenhouse effect of the earth's atmosphere are expected to result in *global warming* and other changes in climate. Most scientists agree that the threat of climate change is real: what is debatable is the extent of change and how it will vary from place to place.

The models used by climatologists generally agree that the temperature increase, as a global annual average, might be from 1° to 4°C by the year 2100. They also agree that the effect would be greater in the high latitudes, especially during the winter months and over large land masses. The warmer temperature would trigger other changes, such as a change in global precipitation patterns, a decrease in snow and ice coverage, and a rise in sea levels.



could arise as a result of the spread of farming into new territory.

The forests could also expand to the north, although more slowly, as trees take much longer to mature than field crops. Some of the areas presently under forest may not be able to support trees, if the soil moisture, already low, is reduced much more. Low soil moisture stresses trees, making them more susceptible to pests, disease, and fire. It has been suggested that 170 million hectares of forest could be lost in the south and only 70 million hectares gained in the north, as they would be limited by poor soil or rock.

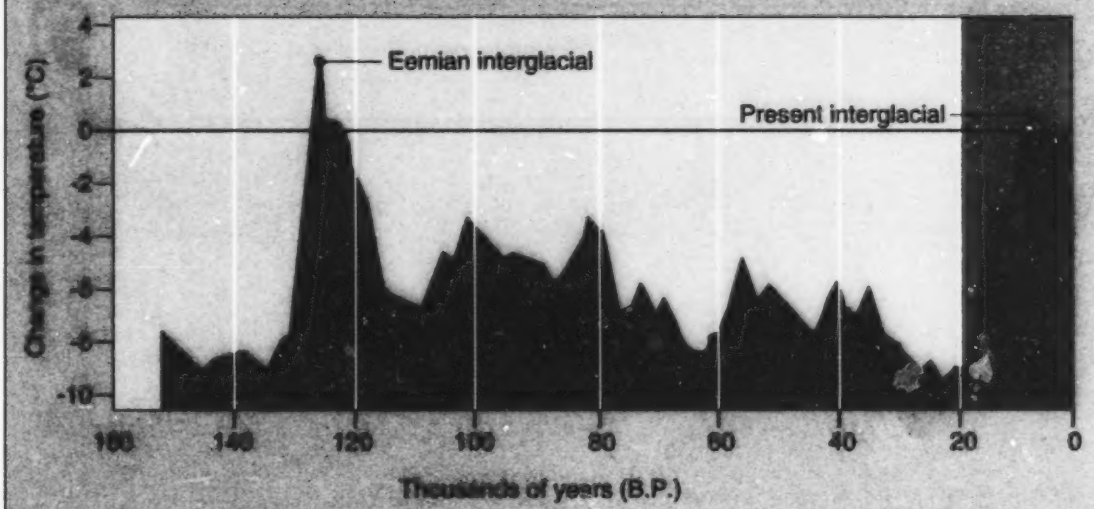
What is global warming?

Although our own climatic records cover only about 100 years, we can infer climatic conditions from the pollens found in layers of mud and from the gas bubbles in ice cores bored through major ice sheets (including an ice core from the Antarctic that gives a record going back well over 200 000 years). These ice cores enable scientists to identify correlations between the composition of the atmosphere and regional climatic conditions in the past. Recent and predicted increases in concentrations of greenhouse gases in the atmosphere are expected to cause additional warming of average surface air temperatures.

These increases in greenhouse gas concentrations have been related to human activities such as the burning of fossil fuels and the reduction of forests. Combustion changes the composition of the atmosphere by adding carbon dioxide and other gases. The large-scale destruction of forests releases large amounts of carbon stored in trees and forest soils.

These human-induced changes to the greenhouse effect of the earth's atmosphere are expected to result in global warming and other changes in climate. Most scientists agree that the threat of climatic change is real; what is debatable is the extent of change and how it will vary from place to place.

The models used by climatologists generally agree that the temperature increase, as a global annual average, might be from 1° to 4°C by the year 2100. They also agree that the effect would be greater in the high latitudes, especially during the winter months and over large land masses. The warmer temperature would trigger other changes, such as a change in global precipitation patterns, a decrease in snow and ice coverage, and a rise in sea levels.

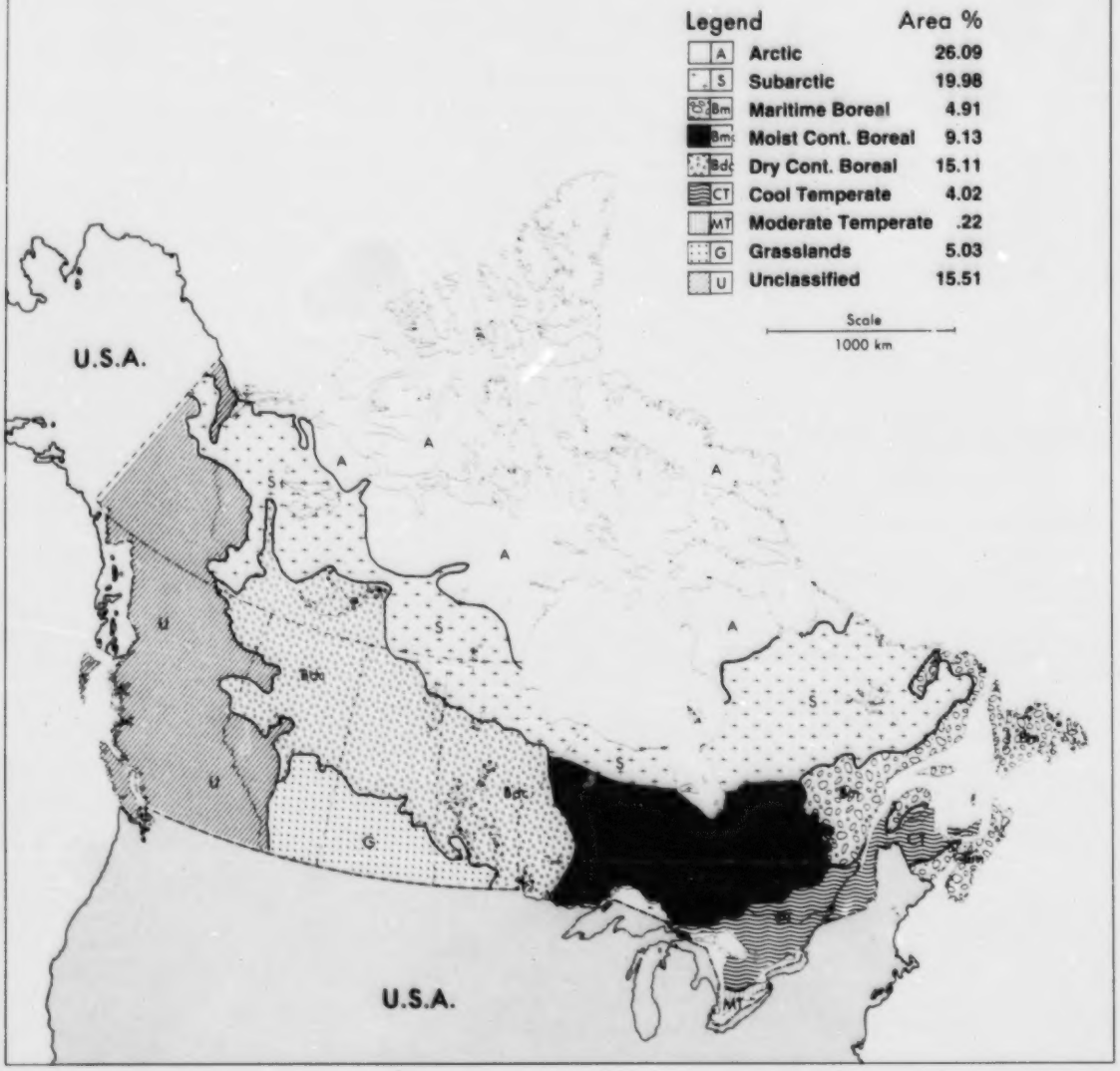


could arise as a result of the spread of farming into new territory.

The forests could also expand to the north, although more slowly, as trees take much longer to mature than field crops. Some of the areas presently under forest may not be able to support trees, if the soil moisture, already low, is reduced much more. Low soil moisture stresses trees, making them more susceptible to pests, disease, and fire. It has been suggested that 170 million hectares of forest could be lost in the south and only 70 million hectares gained in the north, as they would be limited by poor soil or rock.

Map 1.

Ecoclimatic provinces of Canada (Cordillerans not shown)



Great Lakes - St. Lawrence basin

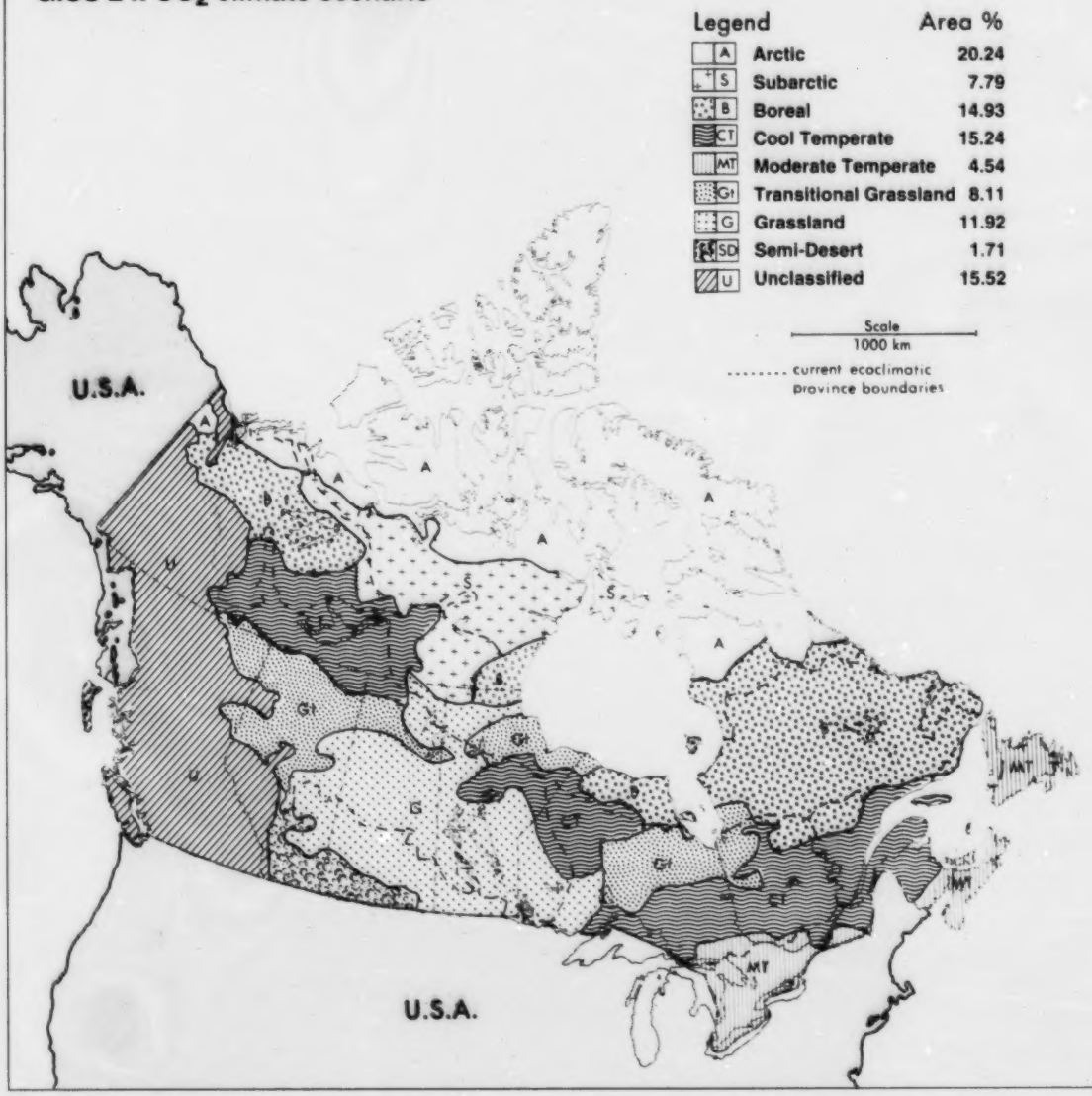
Over 42.5 million people live in the Great Lakes – St. Lawrence basin. Over 29 million of them (including 8 million Canadians) depend on the lakes for drinking water. The quality of the water is already under stress as the region is a major centre of North American manufacturing.

According to researchers, the average temperature in the Great Lakes basin could go up by about 4.5°C by 2055, with slightly larger increases in winter than in summer. Higher rates of evaporation and drier soils would reduce runoff, and water levels in the Great Lakes could fall by an average of between 0.5 m and 1.0 m, according to typical scenarios. The St. Lawrence River outflow could be reduced by 20%.

Water is used intensively by industries such as primary metals, chemicals, food processing, and timber products. Water is also important, particularly to the grain and metal producers, for shipping. However, the biggest single user of Great Lakes water is the electric power industry. All of these industries would be affected by a significant change in the quantity and quality of the water supply.

Map 2

Ecoclimatic provinces generated from the classification function for the GISS 2 x CO_2 climate scenario



While lower water levels would decrease the flow available for the generation of hydroelectric power, a warmer winter would also slightly lower the demand for electric power for heating. This might be counterbalanced by an increase in summer demand for power to run electric fans and air conditioners. Lower water levels would reduce the amount of cargo that ships could carry per trip, but a shorter ice season (by 5 to 12 weeks) might provide for a longer shipping season, allowing more trips per year.

Agriculture is the largest industry in the region, and forestry is a major one in the northern parts of the basin. Although the growing season would be longer, the reduction in soil moisture would be likely to decrease crop yields over time unless adaptive measures were taken. Higher temperatures and drier soils could also reduce the extent and health of forests of the basin, and the drying out of marshes would cut back on wildlife habitat. Some of the present fish species could disappear from the lakes due to warmer temperatures, while other species could migrate northward from southern parts of the region.

An unreliable "cold" season and a projected decrease in snowfall of from 20 to 80%, with the biggest change to the north of the lower Lakes, would substantially reduce the ski season for southern Quebec and virtually eliminate it in southern Ontario.

Water quality might also be affected in the following ways:

- the dredging needed to offset lower water levels could resuspend toxic chemicals;
- higher water temperatures could decrease dissolved oxygen levels and increase the growth of algae and bacteria;
- less runoff and stream discharge would reduce the flushing out of bays and dilution of organic matter and chemicals;
- lower water levels could cause the disappearance of wetlands, which are valuable habitats;
- agricultural and urban expansion would continue to contaminate runoff with fertilizers and toxic chemicals.

The impacts of climate change on water quantity and quality might also increase external pressures on the Great Lakes water supply. For instance, lower water levels in the Mississippi River system might create an increased demand for diversion of Lake Michigan water. Infiltration of salt water into the New York City water supply due to rising sea levels might result in a request for a diversion of Lake Ontario water.

Atlantic coast

A rise in sea level would threaten residential, transportation, and industrial facilities with flooding in low-lying communities along the coast, such as Charlottetown. The threat to a given area would be lesser or greater depending on whether the land itself was rising or subsiding. For instance, the Gaspé Peninsula is rising, while that of Newfoundland is subsiding.

The rise in sea level would increase the incidence of flooding, especially during storms. The serious storm surge and river flooding that may now affect Saint John, for instance, once in 100 years might in future occur once in 20 years.

Salt water intrusion could contaminate groundwater aquifers (the main source of regional water supplies), disturb sensitive estuary ecosystems, and displace freshwater fish populations. On the other hand, freshwater fisheries and aquaculture could benefit from the longer season resulting from a higher average annual temperature.

A rise in ocean temperature could affect the distribution and makeup of the fish population, limiting some species, encouraging others.

While higher temperatures would reduce the extent of sea ice, some scientists think that greater snow accumulation on Arctic ice caps and longer, warmer seasons at their edges might increase the calving of icebergs. It is not clear what effects the warmer temperatures would have on ocean circulation, wave patterns, and the frequency of tropical storms.

The North

A rise in sea level would also flood low-lying areas in northern Canada, such as the Mackenzie River delta, erode shorelines, and change near-shore ecosystems. However, higher temperatures would lessen the extent and duration of sea ice and facilitate shipping in the far north.

Inland, milder winters and longer summers would shorten the season for ice roads in many areas, reducing access to remote communities and to stands of timber. Gradual melting of the southern permafrost would change water drainage patterns and destabilize the land, affecting roads, pipelines, and buildings. The season for barge transport on the rivers would lengthen.

A longer growing season would allow agriculture to expand northward from its present limits, where soils and moisture permitted. The boreal forest would become more productive in the south, although its northward expansion would be limited by poor soils and slowly thawing permafrost. Fire could become more of a threat as well.

An expected increase in precipitation, particularly in fall and winter, would result in a greater accumulation of snow, although over a shorter season, and the possibility of extensive and earlier flooding in spring. The higher precipitation could increase the net water supply in northern watersheds, expanding the potential for hydroelectric power. For instance, that potential in northern Quebec could increase by 15%.

A little goes a long way...

An increase of 3°C may not seem like much, but around 1000 AD a climate slightly warmer than today enabled the Vikings to settle Iceland and Greenland, while generally the mid-latitudes became drier. By about 500 years later, that colony had disappeared, at least in part due to a temperature drop of about one degree.

Wetlands

Wetlands are permanently or temporarily submerged or permeated by water, and characterized by plants adapted to saturated soil conditions. Wetlands include fresh and salt water marshes, wooded swamps, bogs, seasonally flooded forest, sloughs — any land area that can keep water long enough to let wetland plants and soils develop.

They are the only ecosystem designated for conservation by international convention. They have been recognized as particularly useful areas because:

- they absorb the impact of hydrologic events such as large waves or floods;
- they filter sediments and toxic substances;
- they supply food and essential habitat for many species of fish, shellfish, shorebirds, waterfowl, and furbearing mammals;
- they also provide products for food (wild rice, cranberries, fish, wildfowl), energy (peat, wood, charcoal), and building material (lumber);
- they are valuable recreational areas for activities such as hunting, fishing, and birdwatching.

As a frontier-type ecosystem, *wetlands are particularly vulnerable to climatic variation and extreme events*. Many, especially coastal ones, are unstable to start with, and are easily or frequently changed by erosion, flooding, or the invasion of salt water.

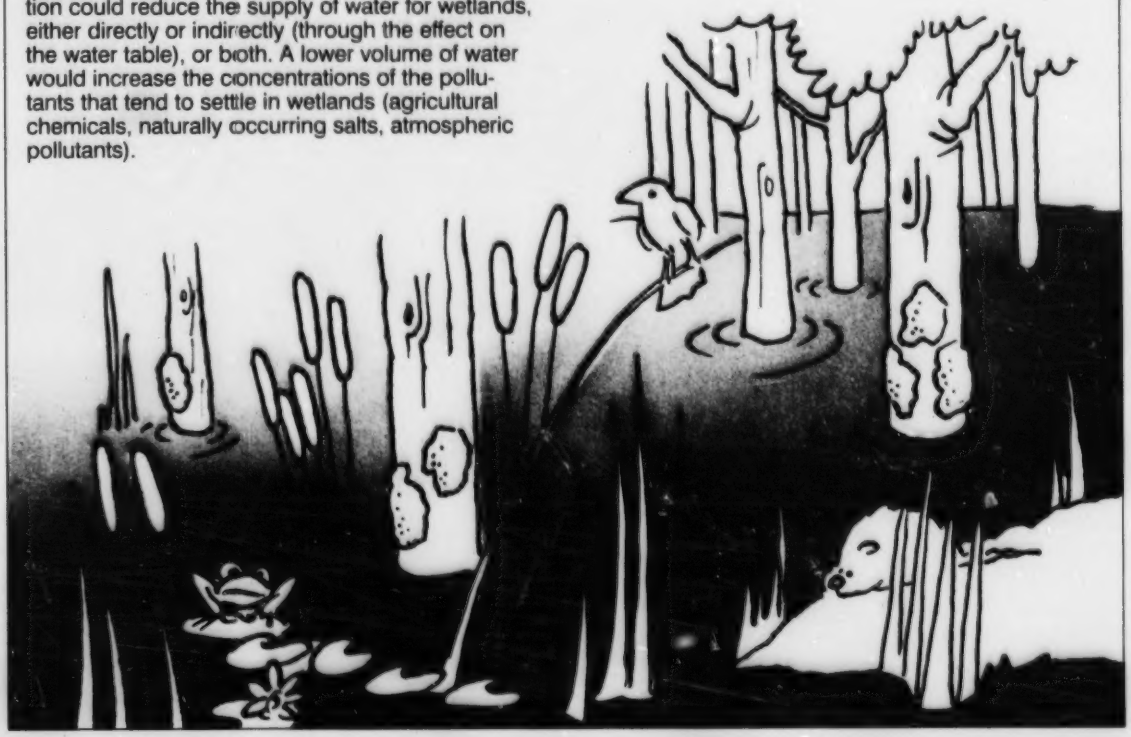
But water supply is the main concern. In arid and semi-arid areas, the occurrence of hotter, drier summers and the increased use of water for irrigation could reduce the supply of water for wetlands, either directly or indirectly (through the effect on the water table), or both. A lower volume of water would increase the concentrations of the pollutants that tend to settle in wetlands (agricultural chemicals, naturally occurring salts, atmospheric pollutants).

Small changes in temperature or water supply could have significant effects on wetland biota. A rise in temperature could allow an undesirable plant species (purple loosestrife, for example) to expand northward. High temperatures and low concentrations of oxygen favour the growth of the botulism bacterium. A change in the seasonality of precipitation could harm plants or animals whose life cycles require certain amounts of water at specific times of the year. Such a change could cause a decline in a plant on which waterfowl depend.

In the past, wetlands were considered wasteland, and many of southern Canada's wetlands were drained or filled in so that they could be farmed or built upon. Recently the value of wetlands has been recognized and efforts have been made to protect these ecosystems. However, they are still disappearing under the pressure of human activity, and now are threatened by air pollution and climate change as well.

Options to prevent further loss of wetlands include the following:

- adding sediment to coastal wetlands to keep up with rising sea levels;
- planting grasses to protect coastal sands from erosion;
- building dikes or barrier islands;
- controlling water levels artificially;
- developing a national policy of protection.



Permafrost

Permafrost is the term used to describe permanently frozen ground. It is said to underlie from one fifth to one quarter of the world's land. As the melting caused by a warmer climate could release some of the large amounts of methane now locked into the frozen soil, this might add substantially to the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere.

The surface layer above the permanently frozen ground can become very mobile during the melt season, making an unstable base for construction. This layer is also vulnerable to melting when built on, driven over, or even walked on. Such traces of human activity remain visible for many years in this delicate environment. A warmer climate might increase the depth of the surface layer.

Mackenzie River Basin

Much of the Mackenzie Basin is underlain by permafrost. This is a particularly interesting part of Canada when we talk about climate change and water supply.

Geographically, it is large; it covers about one sixth of the area of the country. Its settlement pattern is unusual in that the majority of its population and development is located in the upstream part of the basin. Oil and gas and pulp and paper are the main industries. Because the aboriginal inhabitants downstream live almost entirely off the land, a clean and regular water supply is particularly important to them, both for drinking and for the animals they depend on. As well, the rivers are vital transportation links, as routes for boat travel in summer and as ice roads in winter.

Canadian scientists are monitoring the current situation in the Mackenzie Basin to discover possible effects of global warming on northern hydrology, including its impacts on permafrost. They are looking at possible changes in runoff patterns, snow and ice cover, ice jam flooding, water quality, and water levels. Although it is too early for predictions, they suspect that:

- drainage patterns in low-lying areas might change due to the melting of frost sills, which direct or impede water flow;
- water levels in some areas might drop in late summer and autumn due to increased evapotranspiration (with an impact on ecosystems in wetlands, small lakes, and deltas);
- runoff in other areas might increase due to the loss of permafrost;
- an increased sediment load might lead to erosion in some rivers;
- higher temperatures might make some water bodies more productive;
- certain slopes might become unstable and vulnerable to landslides (due to permafrost thaw).

What can we do?

Different people give different answers.

Some argue that since we cannot be sure how climate will react to changes in the atmosphere and the biosphere, we cannot know the outcome of global warming. Why worry if it might not happen?

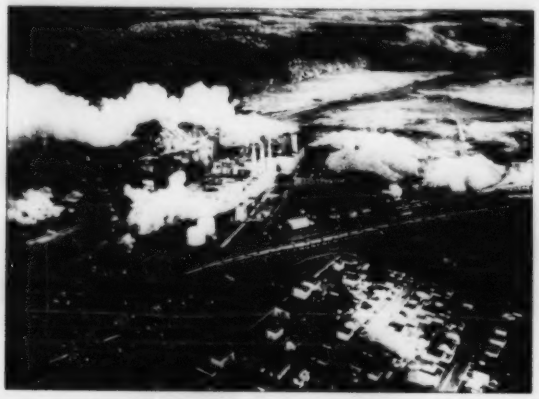
Others say that because we do not know how the water supply will be affected at the regional level, there's no point in spending time and resources on what is only a possibility.

Experts have recommended two general strategies:

- One has to do with preventing or limiting the cause of climate change, by cutting back on production of greenhouse gases and planting more forests.
- The other has to do with anticipating and adapting to change (as it comes), for instance, moving from low-lying coasts or planting crops suited to a warmer, drier climate.

It would make sense to follow both of these strategies. Even a concerted effort to limit the greenhouse effect will not entirely stop the changes in climate: there are time lags between greenhouse gas accumulation and climate change, and between climate change and its impacts on natural resources. While this time lag makes it all the more important to reduce greenhouse gas emissions immediately, it also means that we shall have to adapt to some change in climate.

Adaptive measures include conservation and efficiency strategies that are beneficial even without



climate change. These include using less water, making regional water management more efficient, and instituting realistic water pricing. They include reviewing levels of protection from hazards such as floods, droughts, and forest fires. They also include conserving energy, using alternative energy sources and changing agricultural practices; these would all help to limit future climate change.

We need to manage the water resource more effectively for other reasons — to accommodate to its natural variation and to cope with the demands of a fast-growing population. More effective management would also help us to be prepared for changes in the water supply induced by climate change. Further, a strategy for conserving water quality and quantity, as well as reducing atmospheric pollution makes environmental sense regardless of the presence or absence of a specific climatic crisis.

Options for action

- Everywhere:
  conserve water and energy; repair leaky systems; plan for strength and flexibility in new structures; regulate land use to avoid building on areas vulnerable to flooding; establish water metering and realistic pricing; include water-efficient technology in building codes.
- In drylands:
  choose appropriate crops; irrigate less wastefully; design new criteria for adjustable, retrofitable storage structures; consider interbasin transfers and/or recharge of aquifers.
- In flood-prone areas:
  continue to improve forecasting and warning systems, and evacuation and relief plans; evaluate and improve present flood-control structures; design new structures to handle more frequent and extreme events.
- On the coasts:
  look at building barriers to erosion and saltwater invasion; consider desalinization technologies.
- In navigable waterways:
  dredge shallows; lighten barge loads; use other means of transport during dry times.

For further information on climate change

Publications of general interest include the fact sheets on climate change published by Atmospheric Environment Service; the Freshwater Series provided by the Environmental Conservation Service (also Environment Canada); and Great Lakes Facts (The Centre for the Great Lakes, Toronto). The Climate Change Digests and the CO_2 Climate Reports (both from the Atmospheric Environment Service, Environment Canada) are particularly useful.

Bardecki, Michal J. 1991. "Wetlands and climate change: a speculative review." *Can. Water Resour. J.* 16(I): 9-22.

Bolin, Bert, Bo Doos, Jill Jager, and Richard Warwick (Eds). 1986. *The greenhouse effect, climatic change and ecosystems*. Chichester: Wiley.

Bruce, J., L. Hoesung, and E. Haites (Eds). 1996. *Climate Change 1995 — Economic and social dimensions of climate change*. Cambridge University Press.

Canadian Climate Centre and U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration. 1989. *Impacts of climate change on the Great Lakes Basin*. Downsview, Ont. 210 pp.

Cohen, S.J. 1991. "Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin, Canada." *Climatic Change*, 19: 291-317.

Cohen, S.J., L.E. Welsh, and P.Y.T. Louie. 1989. *Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin*. Canadian Climate Centre Report 89-9. Environment Canada.

Environment Canada. 1991. *Climate change and Canadian impacts: the scientific perspective*. Prepared for the Climate Change Digest, Atmospheric Environment Service, by the Canadian Climate Program Board. CCD 91-01. 30 pp.

Gleick, P.H. 1989. "Climate, hydrology, and water resources." *Reviews of Geophysics*, 27: 329-344.

Government of Canada. *The state of Canada's environment — 1991*. Chapters 22 and 26.

climate change. These include using less water, making regional water management more efficient, and instituting realistic water pricing. They include reviewing levels of protection from hazards such as floods, droughts, and forest fires. They also include conserving energy, using alternative energy sources and changing agricultural practices; these would all help to limit future climate change.

We need to manage the water resource more effectively for other reasons — to accommodate to its natural variation and to cope with the demands of a fast-growing population. More effective management would also help us to be prepared for changes in the water supply induced by climate change. Further, a strategy for conserving water quality and quantity, as well as reducing atmospheric pollution makes environmental sense, regardless of the presence or absence of a specific climatic crisis.

For further information on climate change

Publications of general interest include the fact sheets on climate change published by Atmospheric Environment Service, the Freshwater Series provided by the Environmental Conservation Service (also Environment Canada), and Great Lakes Facts (The Centre for the Great Lakes, Toronto). The Climate Change Digests and the CO_2/Climate Reports (both from the Atmospheric Environment Service, Environment Canada) are particularly useful.

Bardecki, Michal J. 1991. "Wetlands and climate change: a speculative review." *Can. Water Resour. J.* 16(l): 9-22.

Bolin, Bert, Bo Döös, Jill Jäger, and Richard Warwick, (Eds). 1986. *The greenhouse effect, climatic change and ecosystems*. Chichester: Wiley.

Bruce, J., L. Hoesung, and E. Haites. (Eds). 1996. *Climate Change 1995 — Economic and social dimensions of climate change*. Cambridge University Press.

Options for action

- **Everywhere:**
  conserve water and energy; repair leaky systems; plan for strength and flexibility in new structures; regulate land use to avoid building on areas vulnerable to flooding; establish water metering and realistic pricing; include water-efficient technology in building codes.
- **In drylands:**
  choose appropriate crops; irrigate less wastefully; design new criteria for adjustable, retrofitable storage structures; consider interbasin transfers and/or recharge of aquifers.
- **In flood-prone areas:**
  continue to improve forecasting and warning systems, and evacuation and relief plans; evaluate and improve present flood-control structures; design new structures to handle more frequent and extreme events.
- **On the coasts:**
  look at building barriers to erosion and saltwater invasion; consider desalinization technologies.
- **In navigable waterways:**
  dredge shallows; lighten barge loads; use other means of transport during dry times.

Canadian Climate Centre and U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration. 1989. *Impacts of climate change on the Great Lakes Basin*. Downsview, Ont. 210 pp.

Cohen, S.J. 1991. "Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin, Canada." *Climatic Change*, 19: 291-317.

Cohen, S.J., L.E. Welsh, and P.Y.T. Louie. 1989. *Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin*. Canadian Climate Centre Report 89-9, Environment Canada.

Environment Canada. 1991. *Climate change and Canadian impacts: the scientific perspective*. Prepared for the Climate Change Digest, Atmospheric Environment Service, by the Canadian Climate Program Board. CCD 91-01. 30 pp.

Gleick, P.H. 1989. "Climate, hydrology, and water resources." *Reviews of Geophysics*, 27: 329-344.

Government of Canada. *The state of Canada's environment — 1991*. Chapters 22 and 26.

Hall, J. Peter. 1991. "How will the projected changes in Canada's climate affect the sustainability of forests?" *Winter Cities Symposium*, Sault Ste. Marie, 3 Jan. 1991.

Hall, J. P., and L.W. Carlson. 1990. *Forestry Canada's perspectives on climate change*. Dep. Geogr. Publ. Ser. Occasional Paper No. 11. University of Waterloo, Waterloo, Ont.

Harrington, J.B. 1987. "Climatic change: a review of causes." *Can. J. Forest Res.* 17(11): 1313-1339.

Hengeveld, H. 1995. *Understanding atmospheric change*. A State of the Environment (SOE) Report No. 95-2. Atmospheric Environment Service, Environment Canada.

Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callender, et al. 1996. *Climate change — The science of climate change*. Cambridge University Press.

Lewis, G.D., D. Milburn, and A. Smart. 1992. "The challenge of interjurisdictional water management in the Mackenzie River basin." *Can. Water Resour. J.* 16(4): 381-390.

Lewis, J.E. 1989. "Climatic change and its effects on water resources for Canada: a review." *Can. Water Resour. J.* 14: 34-55.

Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, et al. 1994. *Sensitivity of the coasts of Canada to sea level rise*. GSC Open File Report 2825.

Sinclair, Jan. 1991. "Global warming: a vicious circle." *Our Planet, magazine of the United Nations Environment Programme*. Vol 3(1): 4-7.

Wall, G., and M. Sanderson (Eds). 1990. *Proceedings of an International Symposium/ Workshop on Climate Change: Implications for Water and Ecological Resources*. Department of Geography Publication Series, Occasional Paper No. 11, University of Waterloo. 342 pp.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss, (Eds). 1996. *Climate change 1995 — Impacts, adaptations and mitigation of climate change : scientific-technical analyses*. Cambridge University Press.

Diving beneath the surface

The objective of the Freshwater Series is to provide a basic understanding of the issues and concerns that relate to water in Canada. For more information please write or call the Environment Canada office nearest you or:

Enquiry Centre
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Tel.: (819) 997-2800
Toll free: 1-800-668-6767
Fax: (819) 953-2225
E-mail: enviroinfo@ec.gc.ca

Disponible en français sur demande

This material may be reproduced for educational purposes: a line crediting Environment Canada would be appreciated.

March 1999

Printed on paper that contains recovered waste

Published by authority of the Minister of the Environment
© Minister of Public Works and Government Services, Canada, 1999

Cat. No. En 37-81/9-1999E
ISBN 0-662-18080-1

Environnement Canada
Environment Canada

Écocivisme

Vulnérabilité de l'eau au changement climatique

Depuis des milliers d'années, nous avons ressenti le besoin de détenir la maîtrise de l'eau afin d'y avoir accès à l'endroit et au moment de notre choix. Néanmoins, des sécheresses sévissent dans certaines régions, tandis que des inondations constituent un véritable fléau dans d'autres. Ces phénomènes sont dus, d'une part, à la variabilité naturelle du climat et, d'autre part, à des utilisations impropres des terres et des eaux. À présent, le changement climatique semble dépasser la variabilité naturelle, ce qui se répercutera probablement sur la disponibilité et la répartition des ressources en eau.

Parallèlement, on observe un accroissement des facteurs affectant les eaux. Le volume total des eaux douces est limité, et les sources facilement accessibles sont déjà exploitées. Non seulement plus de personnes que jamais doivent se partager cette ressource, mais la population de la planète devrait doubler d'ici l'an 2050, si la croissance démographique se maintient au rythme actuel.

Une population plus importante requerra plus d'eau et libérera des volumes plus importants d'eau usée. Les programmes concernant la qualité de l'eau ne sont pas encore entièrement au point même dans les pays industrialisés; ils n'existent même pas dans certains pays en développement, où ils seraient les plus indispensables. De surcroît, les coûts de la gestion de l'approvisionnement en eau augmentent, et nos ressources financières limitées sont toujours plus mises à contribution.

Bref, nous devrons peut-être dorénavant tenir compte des effets sur l'eau non seulement de la variabilité naturelle du climat et de la croissance démographique, mais également de ce qui semble être un *changement climatique*, peut-être provoqué par les activités humaines.

Canada

Comment définir le climat?

Le climat est la moyenne, sur un certain nombre d'années, des variations quotidiennes de la température, des précipitations, de la nébulosité, des vents et d'autres conditions atmosphériques qui caractérisent un point quelconque de la surface de la Terre. Il englobe aussi la variabilité de chacun de ses éléments, comme la température et les précipitations, ainsi que la fréquence de divers phénomènes météorologiques. En d'autres termes, le climat représente une combinaison des conditions météorologiques moyennes et de leurs configurations, au cours d'une certaine période, en un lieu particulier.

Le climat est un système équilibré, composé d'éléments interreliés et en interaction, régi par l'apport énergétique du soleil. Les principaux facteurs influant sur le climat sont des processus soit *internes* soit *externes*. Parmi les processus *internes*, mentionnons la circulation de l'air et les courants océaniques, les effets des nuages et des importantes masses de neige et de glace, l'influence de la topographie, celle des sols et de la végétation de surface, les effets des processus et des activités dans la biosphère et les différences régionales, saisonnières et quotidiennes du rayonnement solaire. Les processus *externes* sont l'énergie dispensée par le soleil, la composition de l'atmosphère ainsi que les caractéristiques des terres et des océans.

Les changements climatiques surviennent quand l'équilibre entre le rythme auquel l'énergie entre dans le système climatique de la Terre et celui où elle en sort est perturbé par des variations d'un ou plusieurs de ses principaux éléments. Les principales causes possibles de tels changements englobent les variations de la teneur en aérosols et en gaz de l'atmosphère, des changements de la réflectivité de la surface de la Terre et des modifications de l'intensité du rayonnement solaire atteignant la surface. Des réactions complexes au sein d'autres facteurs risquent de survenir à mesure que le système se réadapte pour établir un nouvel équilibre entre l'absorption et la réflexion de l'énergie. La *rétroaction positive* s'applique aux réactions des variables climatiques qui accentuent le changement initial, comme un réchauffement de surface supplémentaire provoqué par une diminution de la réflexion du rayonnement, elle-même entraînée par une réduction de l'étendue de la couverture nivale. Une *rétroaction négative* s'oppose au changement et y fait partiellement contrepoids; à ce titre, mentionnons le stockage par les océans de la chaleur atmosphérique en excès imputable à l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre.

On estime que le réchauffement planétaire et les changements climatiques associés auxquels on s'attend au cours des quatre ou cinq prochaines décennies sont surtout le produit des activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère (accroissement des gaz à effet de serre) et les caractéristiques du terrain (réduction de l'étendue de la végétation naturelle).

Source : adaptation de Henry Hengeveld, mars 1991, *Comprendre l'atmosphère en évolution. Revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone.* Rapport EDE n° 91–2. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada (p. 13–16).

De quelle façon les scientifiques peuvent-ils déterminer comment le climat changera?

Comment les scientifiques peuvent-ils prévoir les effets à long terme du changement climatique, alors qu'on a encore beaucoup de mal à prévoir quotidiennement la météo? C'est à cause de la variabilité locale des conditions météorologiques que les prévisions du temps semblent imparfaites : les modèles du changement climatique ne tentent même pas d'effectuer de telles prévisions axées sur un lieu donné.

Il existe deux grandes méthodes de prévision du changement climatique possibles : la première est celle des *analogues*, qui consiste à comparer les conditions climatiques et hydrométriques passées et actuelles, et l'autre, beaucoup plus courante, fait appel à la *simulation mathématique* du climat (à l'aide d'ordinateurs) par des modèles de circulation générale (MCG).

À quels types de changement climatique pouvons-nous nous attendre?

De façon générale, d'après les résultats obtenus avec les MCG, les phénomènes suivants pourraient se produire :

- les plus importantes augmentations de température se produiront aux hautes latitudes, en hiver et sur les terres;
- les résultats en matière de précipitations sont moins clairs; les changements varieront probablement d'une région à l'autre.

Une augmentation de température de seulement quelques degrés peut avoir de graves conséquences...

Une augmentation de 3 °C peut sembler sans importance mais, vers l'an 1000 apr. J.-C., un climat légèrement plus chaud qu'aujourd'hui a permis aux Vikings de s'établir en Islande et au Groenland, alors que, de façon générale, les zones des moyennes latitudes sont devenues plus sèches. Près de 500 ans plus tard, la colonie avait disparu du moins en partie en raison d'une baisse de température d'environ un degré.

Les analogues et les MCG

Analogues

On établit des analogues climatiques en choisissant des années passées plus chaudes que la moyenne et en identifiant les conditions climatiques qui régnaient alors de façon à déterminer les effets probables d'un réchauffement terrestre. La méthode des analogues comporte toutefois des limites, car les données climatiques dont nous disposons ne couvrent qu'une période relativement courte et ne brossent pas un tableau complet des changements que peut entraîner un réchauffement planétaire, comme des augmentations à long terme sans précédent de la température, particulièrement en hiver.

MCG

On se sert des MCG pour simuler la circulation atmosphérique, les échanges d'énergie et d'autres importantes interactions entre les terres, les océans et l'atmosphère. Toutefois, ces modèles ne simulent pas adéquatement les processus à plus petite échelle, comme les processus biologiques, les précipitations et la nébulosité. Ces processus influent de façon notable sur les ressources en eau.

Les MCG permettent habituellement de faire des projections des conditions climatiques sur plusieurs décennies (le «climat» représentant les conditions météorologiques moyennes sur 30 ans ou plus), mais ils ne donnent que des prévisions à grande échelle, et non pas les données régionales essentielles à la planification. Cette lacune est due au fait que le maillage de la majorité des MCG est de 2 à 5° de longitude ou de latitude et qu'il faut plusieurs mailles pour simuler une caractéristique physique.

D'autres facteurs qui compliquent les prévisions sont les difficultés de simulation du décalage temporel du système météorologique, particulièrement en ce qui concerne les océans, les effets des nuages bas par rapport aux nuages élevés et leur couverture, ainsi que les incidences temporaires de la variabilité du rayonnement solaire et des cendres libérées dans l'atmosphère pendant les éruptions volcaniques, comme celle du Pinatubo.

On a aussi du mal à prévoir les conséquences des *interactions* entre la couverture nuageuse, l'humidité du sol, la végétation et la glace. La manière dont l'un ou l'autre de ces facteurs pourrait réagir au réchauffement climatique n'est pas suffisamment prévisible pour qu'on ait des résultats fiables et, quand les réactions de plusieurs de ces facteurs risquent de se combiner les unes aux autres, le degré de fiabilité diminue encore.

Pour améliorer nos prévisions, il nous faut des ordinateurs dotés d'une plus grande capacité de traitement. En outre, nous devons disposer de plus de données sur les processus régissant le climat afin de mieux les comprendre, ce qui nous permettrait de créer des modèles plus exacts et d'en valider avec plus d'exactitude les résultats en les comparant à nos observations ou à nos mesures.

Bref, ni les analogues ni les MCG *ne prévoient* les climats futurs réels; pour l'instant, ces outils ne peuvent que nous indiquer quels régimes climatiques pourraient exister dans le futur. Toutefois, ils nous fournissent certains renseignements de base à partir desquels nous pouvons nous préparer.

- le niveau de la mer montera sans doute; le taux moyen d'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale sera peut-être de 6 cm environ par décennie au cours du prochain siècle; ce phénomène sera principalement causé par l'expansion thermique des eaux (expansion stérique) et la fonte des glaciers; il pourra y avoir d'importantes variations régionales causées par l'élévation et la baisse des masses terrestres.

Comment ces changements se répercuteront-ils en général sur nos ressources en eau?

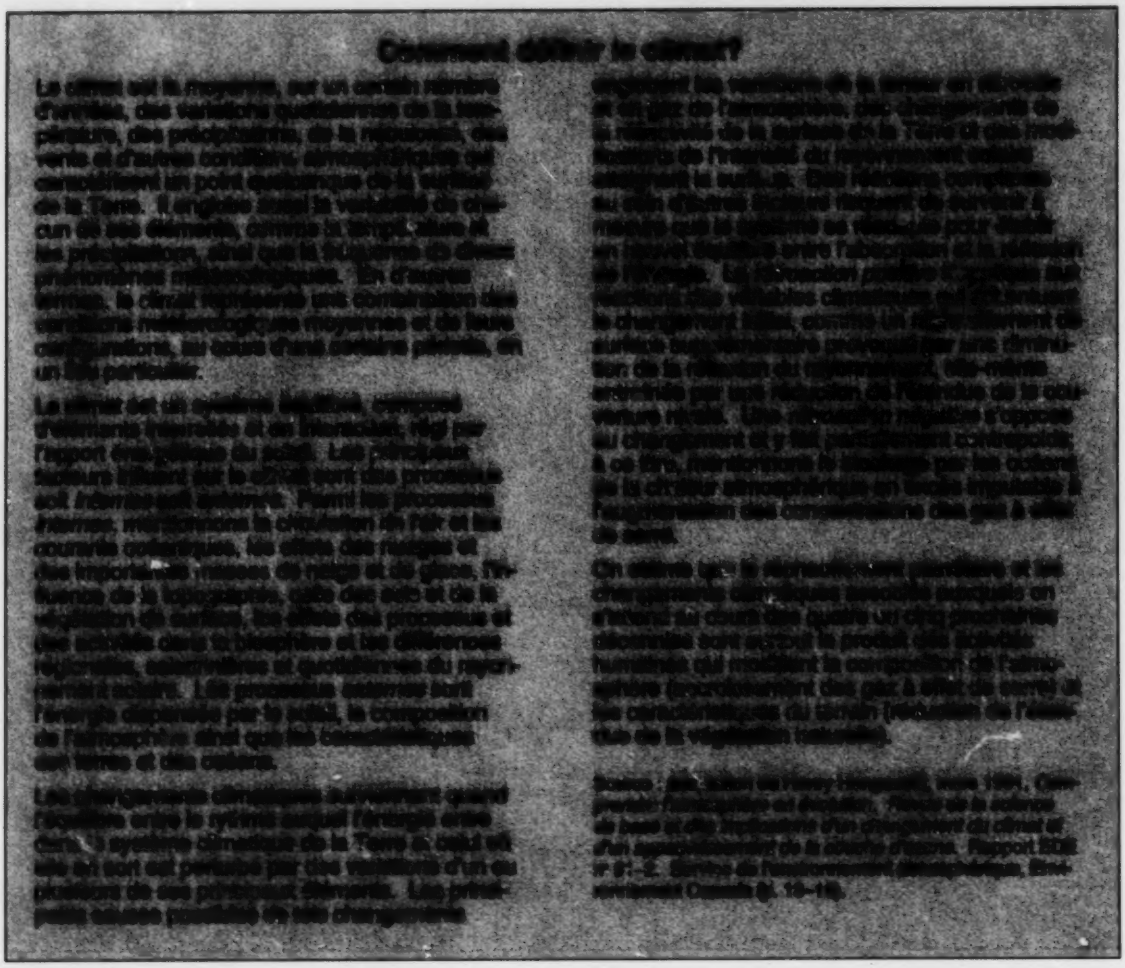
D'après les résultats de la simulation par des MCG d'un climat où le CO_2 serait double, l'accroissement moyen global des précipitations et de l'évaporation serait de 3 à 11 %. Malheureusement, nous sommes encore incertains des endroits et des moments où se produiront ces changements, renseignements qui nous seraient beaucoup plus utiles.

D'après certains signes généraux, on peut croire que se produiront les phénomènes suivants :

- l'actuelle zone pluvieuse des latitudes moyennes se déplacera vers le nord;
- la fonte de la neige et le ruissellement printanier se produiront plus tôt qu'à l'heure actuelle;
- l'évapotranspiration s'intensifiera, puisqu'elle commencera plus tôt et durera plus longtemps;
- la région continentale intérieure dans l'hémisphère Nord connaîtra en général des étés plus secs.

Quels pourraient être les effets de ces changements au Canada?

À l'aide des MCG, les scientifiques créent des scénarios qui leur permettent d'établir des cartes illustrant comment les écosystèmes pourraient réagir au changement climatique. Une étude de ce genre repose sur un cadre écologique où le climat régional est déterminé en fonction de l'évolution de la végétation et des sols **(carte 1)**. L'hypothèse en est que, si nous maintenons tous les facteurs constants dans les zones touchées par des phénomènes extrêmes, l'évolution de la végétation et du sol au cours des ans reflétera l'influence du climat. Les chercheurs se sont servis de données obtenues au moyen d'un MCG postulant un doublement des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère (c.-à-d. un climat futur possible) pour élaborer un scénario illustrant comment la répartition et l'étendue géographiques des écosystèmes existants pourraient changer **(carte 2)**.



De quelle façon les scientifiques peuvent-ils déterminer comment le climat changera?

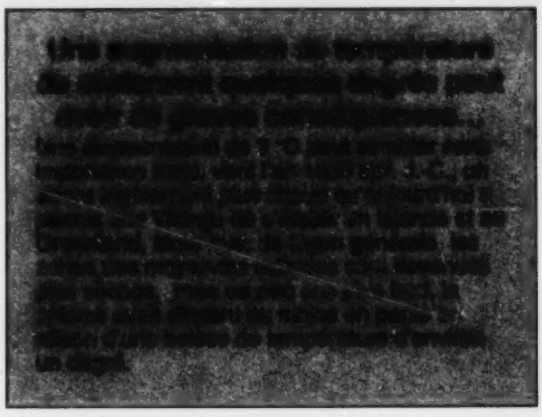
Comment les scientifiques peuvent-ils prévoir les effets à long terme du changement climatique, alors qu'on a encore beaucoup de mal à prévoir quotidiennement la météo? C'est à cause de la variabilité locale des conditions météorologiques que les prévisions du temps semblent imparfaites : les modèles du changement climatique ne tentent même pas d'effectuer de telles prévisions axées sur un lieu donné.

Il existe deux grandes méthodes de prévision du changement climatique possibles : la première est celle des *analogues*, qui consiste à comparer les conditions climatiques et hydrométriques passées et actuelles, et l'autre, beaucoup plus courante, fait appel à la *simulation mathématique* du climat (à l'aide d'ordinateurs) par des modèles de circulation générale (MCG).

À quels types de changement climatique pouvons-nous nous attendre?

De façon générale, d'après les résultats obtenus avec les MCG, les phénomènes suivants pourraient se produire :

- les plus importantes augmentations de température se produiront aux hautes latitudes, en hiver et sur les terres;
- les résultats en matière de précipitations sont moins clairs; les changements varieront probablement d'une région à l'autre;



Les analogues et les MCG

Analogues

On établit des analogues climatiques en choisissant des années passées plus chaudes que la moyenne et en formulant les conditions climatiques qui régnaient alors de façon à déterminer les effets probables d'un réchauffement terrestre. La validité des analogues comporte toutefois des limites, car les données climatiques dont nous disposons ne couvrent qu'une période relativement courte et ne tiennent pas un tableau complet des changements qui peut entraîner un réchauffement planétaire, comme des augmentations à long terme dans plusieurs de la température, particulièrement en hiver.

MCG

On se sert des MCG pour simuler la circulation atmosphérique, les échanges d'énergie et d'autres importantes interactions entre les terres, les océans et l'atmosphère. Toutefois, ces modèles ne simulent pas adéquatement les processus à plus petite échelle, comme les processus biologiques, les précipitations et la nébulosité. Ces processus influent de façon notable sur les ressources en eau.

Les MCG permettent habituellement de faire des projections des conditions climatiques sur plusieurs décennies (le «climat» représentant les conditions météorologiques moyennes sur 30 ans ou plus), mais ils ne donnent que des prévisions à grande échelle, et non pas les données régionales essentielles à la planification. Cette lacune est due au fait que la maille de la majorité des MCG est de 2 à 5° de longitude ou de latitude et qu'il faut plusieurs mailles pour simuler une caractéristique physique.

D'autres facteurs qui compliquent les prévisions sont les difficultés de simulation du décalage temporel du système météorologique, particulièrement en ce qui concerne les océans, les effets des nuages bas par rapport aux nuages élevés et leur couverture, ainsi que les incidences temporaires de la variabilité du rayonnement solaire et des cendres libérées dans l'atmosphère pendant les éruptions volcaniques, comme celle du Pinatubo.

On a aussi du mal à prévoir les conséquences des interactions entre la couverture nuageuse, l'humidité du sol, la végétation et la glace. La manière dont l'un ou l'autre de ces facteurs pourrait réagir au réchauffement climatique n'est pas suffisamment prévisible pour qu'on ait des résultats fiables et, quand les réactions de plusieurs de ces facteurs risquent de se combiner les unes aux autres, le degré de fiabilité diminue encore.

Pour améliorer nos prévisions, il nous faut des ordinateurs dotés d'une plus grande capacité de traitement. En outre, nous devons disposer de plus de données sur les processus régissant le climat afin de mieux les comprendre, ce qui nous permettrait de créer des modèles plus exacts et d'en valider avec plus d'exactitude les résultats en les comparant à nos observations ou à nos mesures.

Bref, ni les analogues ni les MCG *ne prévoient* les climats futurs réels; pour l'instant, ces outils ne peuvent que nous indiquer quels régimes climatiques pourraient exister dans le futur. Toutefois, ils nous fournissent certains renseignements de base à partir desquels nous pouvons nous préparer.

- le niveau de la mer montera sans doute; le taux moyen d'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale sera peut-être de 6 cm environ par décennie au cours du prochain siècle; ce phénomène sera principalement causé par l'expansion thermique des eaux (expansion stérique) et la fonte des glaciers; il pourra y avoir d'importantes variations régionales causées par l'élévation et la baisse des masses terrestres.

Comment ces changements se répercuteront-ils en général sur nos ressources en eau?

D'après les résultats de la simulation par des MCG d'un climat où le CO_2 serait doublé, l'accroissement moyen global des précipitations et de l'évaporation serait de 3 à 11 %. Malheureusement, nous sommes encore incertains des endroits et des moments où se produiront ces changements, renseignements qui nous seraient beaucoup plus utiles.

D'après certains signes généraux, on peut croire que se produiront les phénomènes suivants :

- l'actuelle zone pluvieuse des latitudes moyennes se déplacera vers le nord;
- la fonte de la neige et le ruissellement printanier se produiront plus tôt qu'à l'heure actuelle;
- l'évapotranspiration s'intensifiera, puisqu'elle commencera plus tôt et durera plus longtemps,
- la région continentale intérieure dans l'hémisphère Nord connaîtra en général des étés plus secs.

Quels pourraient être les effets de ces changements au Canada?

À l'aide des MCG, les scientifiques créent des scénarios qui leur permettent d'établir des cartes illustrant comment les écosystèmes pourraient réagir au changement climatique. Une étude de ce genre repose sur un cadre écologique où le climat régional est déterminé en fonction de l'évolution de la végétation et des sols **(carte 1)**. L'hypothèse en est que, si nous maintenons tous les facteurs constants dans les zones touchées par des phénomènes extrêmes, l'évolution de la végétation et du sol au cours des ans reflétera l'influence du climat. Les chercheurs se sont servis de données obtenues au moyen d'un MCG postulant un doublement des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère (c.-à-d. un climat futur possible) pour élaborer un scénario illustrant comment la répartition et l'étendue géographiques des écosystèmes existants pourraient changer **(carte 2)**.

Certes, l'effet de serre est un phénomène naturel, mais...

La Terre jouit d'un certain système naturel de piégeage de la chaleur. Il s'agit de l'effet de serre. La majeure partie du rayonnement solaire traverse l'atmosphère jusqu'à ses régions plus basses et à la surface de la Terre qui, alors, se réchauffe, puis réfléchit ce rayonnement. Certains gaz de l'atmosphère absorbent le rayonnement ascendant et le renvoient vers le sol, y maintenant la chaleur, comme dans une serre. C'est ainsi que la température moyenne au sol est d'environ 15 °C, alors que, sans les gaz à effet de serre, elle serait d'environ -18 °C.

Toutefois, à l'heure actuelle, l'activité humaine a modifié la composition de l'atmosphère en y injectant davantage de gaz à effet de serre, notamment du dioxyde de carbone. C'est au cours du XIX^{e} siècle qu'on a d'abord remarqué l'augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. On a cependant commencé à effectuer régulièrement des mesures exactes à Hawaii, en 1957-1958, l'Année géophysique internationale.

D'après les études de carottes de glace prélevées dans l'Antarctique, la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère est demeurée relativement constante pendant 10 000 ans, à environ 270 parties par million (ppm), jusqu'au milieu du XIX^{e} siècle. Aujourd'hui, cette valeur est d'environ 350 ppm et continue d'augmenter.

Parmi les autres gaz à effet de serre libérés par les activités humaines, mentionnons l'ozone troposphérique, le méthane, l'oxyde nitreux et les chlorofluorocarbures (CFC). Ces gaz sont présents dans l'atmosphère à des concentrations inférieures à celles du dioxyde de carbone, mais ils ont peut-être une meilleure capacité de piégeage de la chaleur. Les CFC sont les gaz à effet de serre qui absorbent le plus de chaleur : une molécule de CFC peut avoir un effet de 10 000 à 20 000 fois supérieur à celui d'une molécule de CO_2.

En général, les scientifiques estiment que, lorsque les concentrations de CO_2 dans l'atmosphère atteindront le double de celles de l'ère préindustrielle, vers 2080, il se produira un réchauffement planétaire moyen de deux à trois degrés Celsius. Si on ajoute à cela les effets des autres gaz à effet de serre, ils s'attendent que, au rythme d'accroissement actuel, le doublement surviendra vers 2030.

D'après les chercheurs, la vapeur d'eau, un gaz à effet de serre naturel et le plus abondant, augmentera parallèlement au réchauffement planétaire, car des températures plus élevées favoriseront davantage l'évaporation.

Principaux gaz à effet de serre

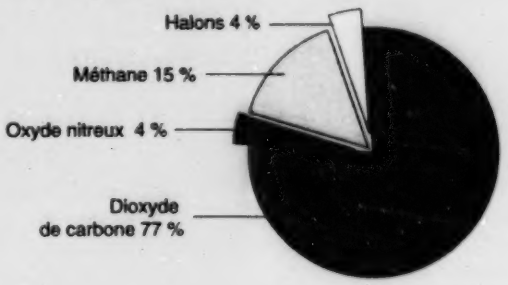
Dioxyde de carbone (CO_2)
Sources anthropiques : Substance produite principalement par la consommation de combustibles fossiles (hydrocarbures, gaz et charbon) dans les centrales électriques, les voitures et les usines. Le brûlage des forêts en émet également.
Augmentation annuelle : 0,5 %
Temps de séjour : 50 - 200 ans

Méthane (CH_4)
Sources anthropiques : Décomposition bactérienne de matière organique (en l'absence d'oxygène) dans les rizières, les marais et les marécages, les décharges et les intestins de ruminants comme les vaches et les moutons. Le brûlage du bois et l'extraction du charbon en constituent d'autres sources.
Augmentation annuelle : 1 %
Temps de séjour : 10 - 12 ans

Chlorofluorocarbures (CFC)
Sources anthropiques : Substances chimiques de synthèse, utilisées comme produit de refroidissement dans les réfrigérateurs et les climatiseurs. On s'en sert également dans la fabrication des mousses isolantes et des aérosols.
Augmentation annuelle : 4 %
Temps de séjour : jusqu'à 10 000 ans

Oxyde nitreux (N_2O)
Sources anthropiques : Réactions bactériennes dans le sol et dans l'eau et décomposition des engrais chimiques à base d'azote. D'autres sources sont la combustion de combustibles fossiles et du bois (déboisement).
Augmentation annuelle : 0,4 %
Temps de séjour : 150 ans

Contribution des actuels gaz à effet de serre au réchauffement planétaire



Remarque : Les gaz à effet de serre anthropiques sont ceux qui sont libérés par des processus découlant de l'activité humaine (par exemple, consommation de combustibes fossiles). Certains gaz à effet de serre, comme les chlorofluorocarbures (CFC), sont entièrement d'origine anthropique, tandis que seulement un faible pourcentage d'autres, comme le dioxyde de carbone, est produit par les activités humaines. Même si les gaz à effet de serre anthropiques ne représentent qu'un petit pourcentage du total des gaz dans l'atmosphère, ils sont en train de modifier l'équilibre de celle-ci.

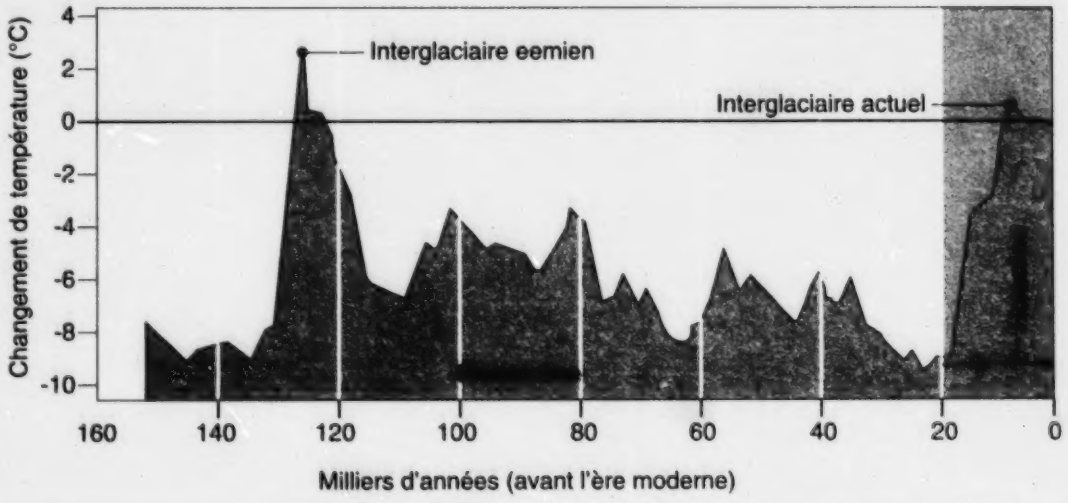
Qu'est-ce que le réchauffement planétaire?

Même si nos propres archives sur le climat ne remontent qu'à environ 100 ans, nous pouvons déterminer par inférence les conditions climatiques du passé, à partir des grains de pollen trouvés dans des couches de boue et des bulles de gaz dans les carottes de glace prélevées dans les importants glaciers (dont une carotte prélevée dans l'Antarctique qui a permis de connaître les conditions climatiques qui régnaient il y a plus de 100 000 ans). Ces carottes de glace permettent aux scientifiques d'établir des corrélations entre la composition de l'atmosphère et les conditions climatiques régionales du passé. On s'attend que les augmentations récentes et prévues des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère se traduiront par un réchauffement supplémentaire des températures moyennes de l'air à la surface de la Terre.

On a établi des rapports entre l'accroissement des teneurs en gaz à effet de serre et les activités humaines, comme la consommation de combustibles fossiles et le déboisement. La combustion modifie la composition de l'atmosphère en y injectant du dioxyde de carbone et d'autres gaz. De plus, la destruction de vastes étendues de forêts réduit le volume de dioxyde de carbone que la biosphère peut absorber.

On prévoit que ces modifications anthropiques de l'effet de serre dans notre atmosphère provoquera un *réchauffement planétaire*. Il s'agit certes d'un sujet fort controversé, mais la majorité des scientifiques conviennent qu'il y aura bel et bien réchauffement : les points incertains sont l'importance des changements et les variations qu'on observera d'un endroit à l'autre.

Les modèles employés par les climatologues aboutissent généralement aux mêmes résultats : l'augmentation moyenne annuelle de la température du globe sera peut-être de 1 à 5 °C. Ces scientifiques s'entendent aussi pour dire que l'effet sera plus marqué aux latitudes élevées, particulièrement pendant les mois d'hiver et sur les vastes masses de terre. Ce réchauffement entraînera probablement d'autres changements, comme la modification des configurations des précipitations globales, une diminution des couvertures de neige et de glace, et une augmentation du niveau de la mer.



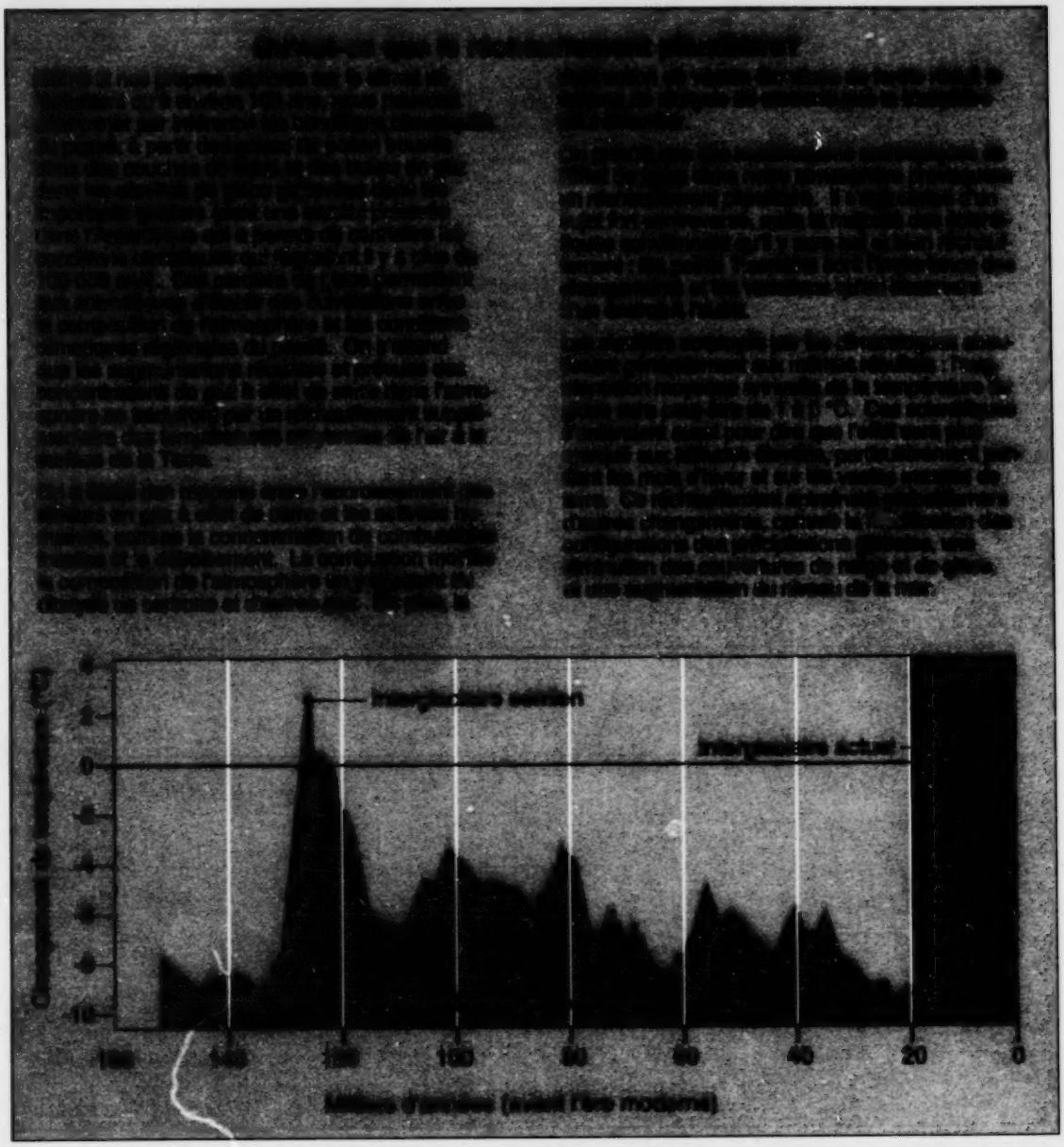
Comme le Canada est une importante masse de terre située à des latitudes septentrionales allant de moyennes à élevées, on s'attend que l'intérieur du pays connaîtra une hausse de la température supérieure à la moyenne et une diminution de l'humidité du sol en été. Dans le nord, on prévoit qu'il y aura une augmentation plus marquée des températures en hiver et des précipitations plus abondantes qu'à présent, particulièrement pendant cette saison.

Les effets du changement climatique devraient être plus prononcés dans certaines régions que dans d'autres; on les a étudiés de façon plus détaillée. Il faut aussi signaler que les scénarios établis au plan régional comportent plus d'incertitudes que ceux qui s'étendent à l'échelle mondiale.

Côte du Pacifique

Une élévation du niveau de la mer menacerait les basses terres côtières, comme le delta du fleuve Fraser, où l'on pourrait observer un accroissement des inondations et de l'érosion. L'augmentation des précipitations que l'on juge probable en hiver favoriserait les glissements de terrain et les inondations locales.

L'augmentation de la température des cours d'eau pourrait se traduire par une importante mortalité pendant la période précédant la fraye chez certains poissons qui remontent les cours d'eau pour s'y reproduire (poissons anadromes), comme le saumon du Pacifique. Toutefois, un océan plus chaud pourrait être favorable à des espèces du sud, comme le thon, la merluche et le calmar, qui pourraient migrer vers le nord.



Comme le Canada est une importante masse de terre située à des latitudes septentrionales allant de moyennes à élevées, on s'attend que l'intérieur du pays connaîtra une hausse de la température supérieure à la moyenne et une diminution de l'humidité du sol en été. Dans le nord, on prévoit qu'il y aura une augmentation plus marquée des températures en hiver et des précipitations plus abondantes qu'à présent, particulièrement pendant cette saison.

Les effets du changement climatique devraient être plus prononcés dans certaines régions que dans d'autres; on les a étudiés de façon plus détaillée. Il faut aussi signaler que les scénarios établis au plan régional comportent plus d'incertitudes que ceux qui s'étendent à l'échelle mondiale.

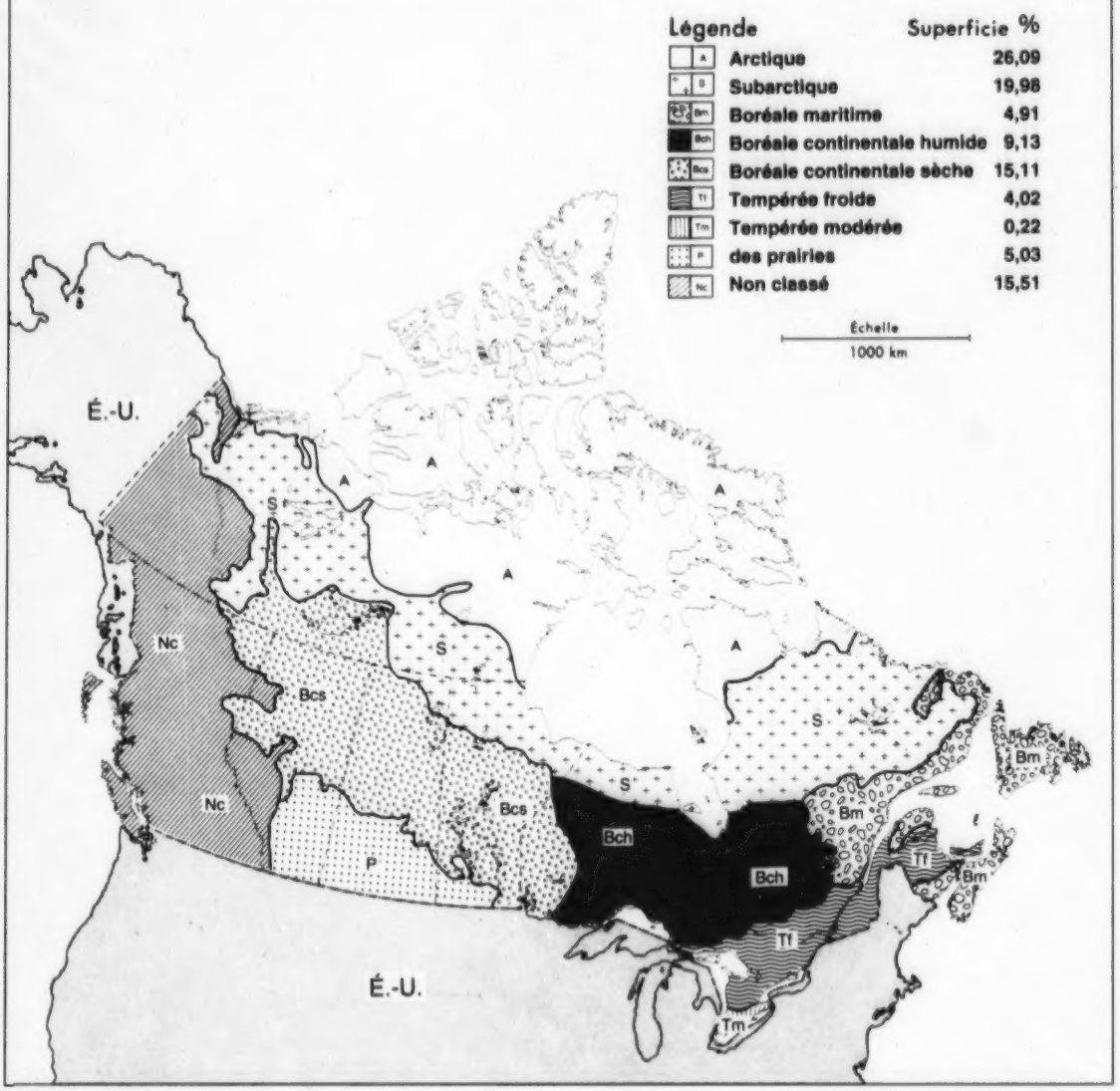
Côte du Pacifique

Une élévation du niveau de la mer menacerait les basses terres côtières, comme le delta du fleuve Fraser, où l'on pourrait observer un accroissement des inondations et de l'érosion. L'augmentation des précipitations que l'on juge probable en hiver favoriserait les glissements de terrain et les inondations locales.

L'augmentation de la température des cours d'eau pourrait se traduire par une importante mortalité pendant la période précédant la fraye chez certains poissons qui remontent les cours d'eau pour s'y reproduire (poissons anadromes), comme le saumon du Pacifique. Toutefois, un océan plus chaud pourrait être favorable à des espèces du sud, comme le thon, la merluche et le calmar, qui pourraient migrer vers le nord.

Carte 1

Provinces écoclimatiques actuelles du Canada



Les écosystèmes forestiers de la côte ouest pourraient être soumis à des stress plus grands, car un climat plus chaud attirerait les insectes ravageurs et les pathogènes vers le nord. Dans les zones plus sèches, les forêts seraient plus vulnérables aux incendies.

Province des Prairies

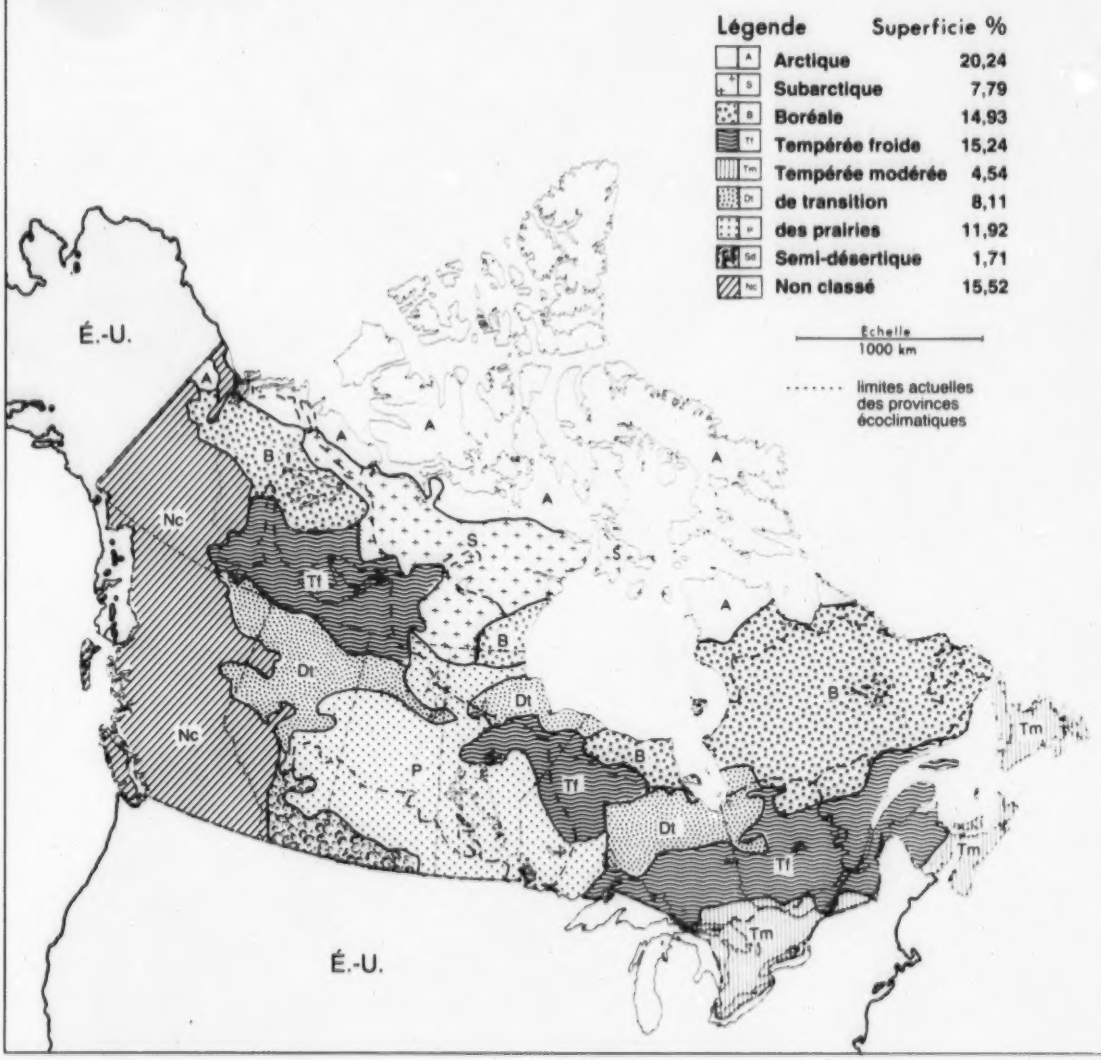
Les Prairies, le grenier du Canada, connaissent déjà des sécheresses périodiques, particulièrement dans le sud. L'accroissement des températures et de l'évapotranspiration se traduirait probablement par des sécheresses plus fréquentes. En outre, une irrigation plus intense, si une quantité suffisante d'eau est disponible, pourrait faire remonter plus de sels solubles à la surface, ce qui détériorerait la qualité du sol.

Si le climat se réchauffait, les zones agricoles pourraient être déplacées vers le nord, dans des régions plus humides (quoique encore sèches). Les sols du nord, peu fertiles, risquent, plus que le climat, de limiter l'extension de l'agriculture dans le nord. La migration de l'agriculture dans un nouveau territoire pourrait susciter des conflits entre les agriculteurs et d'autres utilisateurs des terres.

Les forêts pourraient aussi s'étendre vers le nord, quoique plus lentement, car les arbres prennent

Carte 2

Limites prévues des provinces écoclimatiques du Canada en fonction des changements climatiques provoqués par le doublement de la teneur en CO_2 de l'atmosphère



beaucoup plus de temps à atteindre la maturité que les cultures de grands champs. Certaines zones actuellement boisées risquent de dépérir et de devenir peu favorables à la croissance des arbres si l'humidité du sol, déjà faible, est encore réduite. Une basse teneur en eau des sols affaiblit les arbres, les rendant ainsi plus vulnérables aux ravageurs, aux maladies et aux incendies. Selon certains, nous pourrions perdre 170 millions d'hectares de forêt dans le sud et n'en gagner que 70 millions d'hectares dans le nord, où les sols sont peu fertiles ou rocheux.

Bassin versant Grands Lacs–Saint-Laurent

Plus de 42,5 millions de personnes peuplent le bassin versant Grands Lacs–Saint-Laurent. Plus de 29 millions d'entre eux, dont 8 millions de Canadiens, s'approvisionnent en eau potable dans les lacs. Les ressources en eau y sont déjà de qualité médiocre, car la région constitue l'un des principaux centres industriels de l'Amérique du Nord.

D'après les chercheurs, la température moyenne dans le bassin des Grands Lacs pourrait monter d'environ 4,5 °C d'ici l'an 2055, et l'accroissement de la température serait plus marqué en hiver qu'en été. La hausse des taux d'évaporation et la perte d'humidité des sols se traduiraient par une réduction du ruissellement, et le niveau de l'eau dans les Grands Lacs pourrait, en moyenne, baisser de 0,5 m à 1,0 m, selon les scénarios types. Le débit sortant du fleuve Saint-Laurent pourrait subir une réduction allant jusqu'à 20 %.

Les secteurs comme ceux des métaux de première fusion, des produits chimiques, de la transformation alimentaire et des produits du bois font un usage intensif de l'eau. En outre, l'eau sert à l'expédition des produits, particulièrement dans les secteurs des céréales et des métaux. Toutefois, les centrales électriques constituent les plus grands utilisateurs des Grands Lacs. Tous ces secteurs seraient touchés par une modification importante du volume et de la qualité de l'approvisionnement en eau.

Tandis qu'une baisse du niveau de l'eau se traduirait par une diminution du débit, donc de production d'électricité, un hiver plus chaud ferait aussi légèrement baisser la demande d'électricité pour le chauffage. En revanche, il pourrait alors se produire une augmentation de la demande en été pour l'alimentation de ventilateurs et de climatiseurs. Si le niveau de l'eau baissait, il faudrait peut-être réduire la quantité de marchandises transportées par les bateaux pendant chaque expédition. Toutefois, une saison des glaces plus courte (de 5 à 12 semaines de moins) pourrait rallonger la saison de navigation, ce qui permettrait de faire davantage d'expéditions par année.

L'agriculture constitue l'industrie la plus importante de la région, et l'exploitation forestière est l'un des secteurs d'envergure dans le nord du bassin versant. Même si un réchauffement climatique prolongeait la saison de croissance, la réduction de l'humidité du sol risquerait de faire baisser le rendement des cultures au cours des ans. En outre, des températures plus élevées et des sols plus secs pourraient réduire l'étendue des forêts du bassin versant et nuire à leur santé, et l'assèchement des marais aboutirait à une perte d'habitats fauniques. Certaines espèces de poissons vivant actuellement dans les lacs pourraient disparaître à cause de l'augmentation des températures, tandis que d'autres pourraient migrer du sud de la région vers le nord.

En raison de la diminution prévue de 20 à 80 % de la chute des neiges, la baisse la plus marquée ayant lieu au nord des lacs d'aval, la saison de ski serait considérablement plus courte dans le sud du Québec et pratiquement inexistante dans le sud de l'Ontario.

La qualité de l'eau pourrait aussi être touchée par les facteurs suivants :

- le dragage requis pour compenser la baisse du niveau de l'eau pourrait remettre en suspension des substances chimiques toxiques;
- la hausse des températures de l'eau pourrait se traduire par une diminution de sa teneur en oxygène dissous et favoriser la croissance des algues et des bactéries;
- la diminution du ruissellement et du débit des cours d'eau réduirait le renouvellement de l'eau des baies ainsi que la dilution des matières organiques et des substances chimiques;
- la baisse du niveau de l'eau pourrait donner lieu à la disparition des terres humides, qui sont des habitats de grande valeur;
- avec l'expansion des terres agricoles et urbaines, le ruissellement continuerait d'être contaminé par des engrais et des substances chimiques toxiques.

Les incidences quantitatives et qualitatives du changement climatique sur les ressources en eau pourraient aussi accroître les pressions externes exercées sur les réserves d'eau des Grands Lacs. Par exemple, une baisse du niveau des eaux dans le réseau hydrographique du Mississippi pourrait nécessiter la dérivation d'un plus grand volume d'eau du lac Michigan. L'invasion d'eau de mer dans les eaux alimentant la ville de New York, invasion entraînée par l'élévation du niveau de la mer, pourrait mener à une demande de dérivation des eaux du lac Ontario.

Côte de l'Atlantique

Une hausse du niveau de la mer y menacerait d'inondation les installations domiciliaires et industrielles et celles servant au transport dans les localités des basses terres côtières, comme Charlottetown. Les risques dans une zone donnée seraient plus ou moins élevés selon que les terres sont en cours de soulèvement ou d'affaissement. Par exemple, à l'heure actuelle, la Gaspésie se soulève tandis que Terre-Neuve s'affaisse.

L'élévation du niveau de la mer augmenterait la fréquence des inondations, particulièrement pendant les tempêtes. Les importantes marées de tempêtes et le débordement des rivières qui touchent actuellement Saint John, par exemple, tous les 100 ans, pourraient, à l'avenir, revenir aux 20 ans.

L'invasion d'eau salée pourrait contaminer les nappes d'eau souterraines (qui constituent la principale source d'alimentation en eau de la région).

Perspective internationale

Quoique au Canada nous produisions uniquement 2 % environ du dioxyde de carbone anthropique libéré annuellement, notre production par habitant est l'une des plus élevées au monde. De même, nos vastes étendues de forêts, importantes pour la réabsorption du dioxyde de carbone, s'amenuisent déjà, et on s'attend qu'elles subiront de graves pertes par suite du réchauffement planétaire.

En Europe, certains pays ont taxé les émissions de carbone afin d'encourager les entreprises à les réduire et d'accroître leur budget de lutte contre la pollution. La taxe est imposée en fonction de la teneur en carbone du combustible fossile employé. Toutefois, dans ces pays, on s'est rendu compte qu'on doit prévoir des exceptions pour empêcher certaines industries à forte consommation d'énergie d'aller s'installer dans d'autres pays non assujettis à ce système. La taxe sera plus efficace une fois qu'elle aura été adoptée de façon plus générale. Jusqu'à maintenant, la Commission européenne a proposé la création d'une taxe sur le carbone et d'autres pays, dont le Japon, l'Australie, les États-Unis et le Canada, envisagent actuellement de le faire.

On a proposé l'implantation d'un système de taxe négative, soit par le biais d'incitations monétaires soit par l'attribution de crédits de pollution, pour les pays possédant de vastes superficies de prairies ou de forêts, qui absorbent d'importantes quantités de carbone, afin de leur permettre de préserver ces ressources ou de les encourager à le faire.

Terres humides

Les *terres humides* sont des zones immergées ou imbibées d'eau de façon permanente ou temporaire et sont caractérisées par des plantes adaptées aux sols saturés. Elles englobent les marais d'eau salée et d'eau douce, les marais boisés, les tourbières, les forêts inondées de façon saisonnière et les marécages, soit toutes les zones immergées où l'eau reste suffisamment longtemps pour permettre le développement des plantes et des sols propres aux terres humides.

Les terres humides constituent l'unique écosystème protégé en vertu d'une convention internationale. Leur utilité particulière tient aux raisons suivantes :

- elles jouent le rôle de tampons pendant des phénomènes hydrologiques comme les grosses vagues ou les inondations;
- elles filtrent les sédiments et les substances toxiques;
- elles fournissent nourriture et abri à de nombreuses espèces de poissons, de coquillages et de crustacés, d'oiseaux de rivage, d'oiseaux aquatiques et de mammifères à fourrure;
- elles offrent aussi des produits alimentaires (riz sauvage, canneberges, poisson, sauvagine), des combustibles (tourbe, bois, charbon de bois) et des matériaux de construction (bois d'oeuvre);
- elles sont des zones récréatives fort prisées pour des activités comme la chasse, la pêche et l'observation d'oiseaux.

En tant qu'écosystèmes de transition, *les terres humides sont particulièrement vulnérables aux variations climatiques et aux événements extrêmes.* Bon nombre d'entre elles, particulièrement celles situées en bordure de la côte, sont instables au départ et subissent facilement ou fréquemment des modifications par suite de l'érosion, des inondations ou de l'invasion d'eau salée.

C'est toutefois l'approvisionnement en eau qui constitue la principale préoccupation. Dans les zones arides et semi-arides, des étés plus chauds et plus secs et l'utilisation accrue d'eau à des fins d'irrigation pourraient réduire les quantités d'eau qui imbibent les terres humides, directement ou indirectement (à cause des effets sur la surface de saturation), ou les deux. La diminution du volume d'eau se traduirait par une augmentation des concentrations de substances polluantes qui ont tendance à être piégées dans les terres humides (substances chimiques utilisées en agriculture, sels naturels, polluants atmosphériques).

Même de petits changements de la température ou de l'approvisionnement en eau pourraient perturber de façon marquée le biote des terres humides. Une augmentation de la température pourrait permettre à une espèce de plante nuisible (par exemple, la salicaire) d'étendre son aire de répartition vers le nord. Des températures élevées et de faibles concentrations d'oxygène favorisent la croissance des bactéries botuliques. Un changement de la fluctuation saisonnière des précipitations pourrait nuire aux plantes ou aux animaux dont le cycle biologique requiert certaines quantités d'eau à des moments précis de l'année. De tels changements pourraient alors rendre moins abondante une espèce de plante dont dépendent les oiseaux aquatiques.

Par le passé, les terres humides étaient jugées inutilisables à des fins productives, et, dans le sud du Canada, bon nombre ont été asséchées ou remblayées pour servir à la culture ou à la construction. Au cours des dernières années, on a reconnu la valeur des terres humides et déployé des efforts afin de protéger ces écosystèmes. Cependant, ces zones continuent de disparaître sous l'effet des activités humaines, et elles sont à présent aussi menacées par la pollution de l'air et le changement climatique.

Des mesures peuvent être prises pour éviter des pertes futures de terres humides :

- addition de sédiments dans les terres humides côtières pour que celles-ci ne disparaissent pas avec l'élévation du niveau de la mer;
- plantation de graminées pour protéger les sables côtiers contre l'érosion;
- aménagement de digues ou d'îles-barrières;
- régularisation des niveaux d'eau;
- élaboration d'une politique nationale en matière de protection.

perturber les écosystèmes vulnérables des estuaires et provoquer le déplacement des populations de poissons d'eau douce. Toutefois, la pêche en eau douce et l'aquiculture pourraient bénéficier d'une plus longue saison grâce à la hausse de la température moyenne annuelle.

La hausse de la température de l'océan pourrait influer sur la répartition et la composition des populations de poissons, limitant certaines espèces et favorisant d'autres. Ces températures plus élevées réduiraient l'étendue de la glace de mer, mais certains scientifiques estiment qu'une plus importante accumulation de neige sur les calottes glaciaires et le prolongement des saisons plus clémentes aux limites de celles-ci pourraient favoriser le vêlage des glaciers. On n'a pas encore déterminé avec certitude quels seraient les effets d'une augmentation de la température sur la circulation océanique, les configurations des vagues et la fréquence des tempêtes tropicales.

Le Nord

Une élévation du niveau de la mer provoquerait aussi l'inondation des basses terres du nord du Canada, comme le delta du Mackenzie, ainsi que l'érosion du littoral, et modifierait les écosystèmes de cette zone. Toutefois, des températures plus élevées se traduiraient par une diminution de l'étendue et de la durée de la glace de mer, facilitant ainsi le transport par bateau dans le Grand Nord.

Les secteurs comme ceux des métaux de première fusion, des produits chimiques, de la transformation alimentaire et des produits du bois font un usage intensif de l'eau. En outre, l'eau sert à l'expédition des produits, particulièrement dans les secteurs des céréales et des métaux. Toutefois, les centrales électriques constituent les plus grands utilisateurs des Grands Lacs. Tous ces secteurs seraient touchés par une modification importante du volume et de la qualité de l'approvisionnement en eau.

Tandis qu'une baisse du niveau de l'eau se traduirait par une diminution du débit, donc de production d'électricité, un hiver plus chaud ferait aussi légèrement baisser la demande d'électricité pour le chauffage. En revanche, il pourrait alors se produire une augmentation de la demande en été pour l'alimentation de ventilateurs et de climatiseurs. Si le niveau de l'eau baissait, il faudrait peut-être réduire la quantité de marchandises transportées par les bateaux pendant chaque expédition. Toutefois, une saison des glaces plus courte (de 5 à 12 semaines de moins) pourrait rallonger la saison de navigation, ce qui permettrait de faire davantage d'expéditions par année.

L'agriculture constitue l'industrie la plus importante de la région, et l'exploitation forestière est l'un des secteurs d'envergure dans le nord du bassin versant. Même si un réchauffement climatique prolongeait la saison de croissance, la réduction de l'humidité du sol risquerait de faire baisser le rendement des cultures au cours des ans. En outre, des températures plus élevées et des sols plus secs pourraient réduire l'étendue des forêts du bassin versant et nuire à leur santé, et l'assèchement des marais aboutirait à une perte d'habitats fauniques. Certaines espèces de poissons vivant actuellement dans les lacs pourraient disparaître à cause de l'augmentation des températures, tandis que d'autres pourraient migrer du sud de la région vers le nord.

En raison de la diminution prévue de 20 à 80 % de la chute des neiges, la baisse la plus marquée ayant lieu au nord des lacs d'aval, la saison de ski serait considérablement plus courte dans le sud du Québec et pratiquement inexistante dans le sud de l'Ontario.

La qualité de l'eau pourrait aussi être touchée par les facteurs suivants :

- le dragage requis pour compenser la baisse du niveau de l'eau pourrait remettre en suspension des substances chimiques toxiques;
- la hausse des températures de l'eau pourrait se traduire par une diminution de sa teneur en oxygène dissous et favoriser la croissance des algues et des bactéries;
- la diminution du ruissellement et du débit des cours d'eau réduirait le renouvellement de l'eau des baies ainsi que la dilution des matières organiques et des substances chimiques;
- la baisse du niveau de l'eau pourrait donner lieu à la disparition des terres humides, qui sont des habitats de grande valeur;
- avec l'expansion des terres agricoles et urbaines, le ruissellement continuerait d'être contaminé par des engrais et des substances chimiques toxiques.

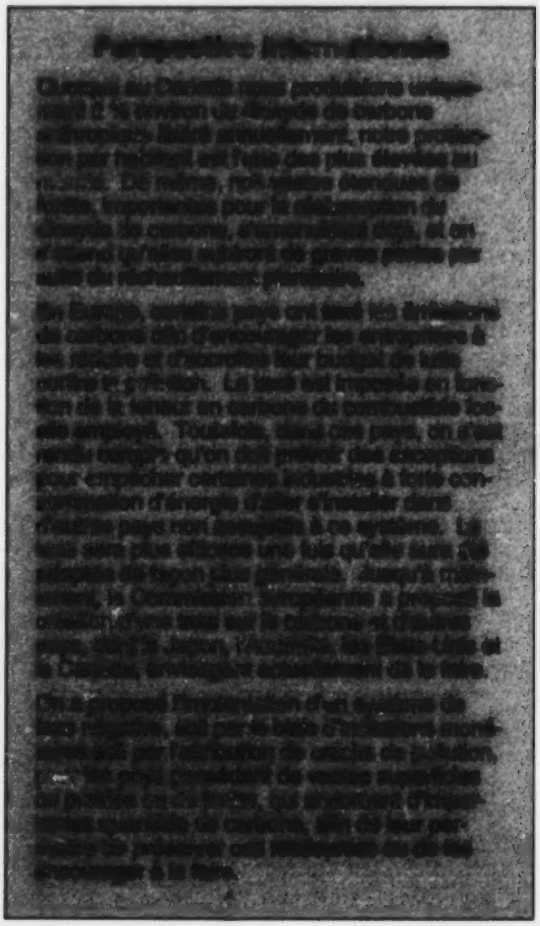
Les incidences quantitatives et qualitatives du changement climatique sur les ressources en eau pourraient aussi accroître les pressions externes exercées sur les réserves d'eau des Grands Lacs. Par exemple, une baisse du niveau des eaux dans le réseau hydrographique du Mississippi pourrait nécessiter la dérivation d'un plus grand volume d'eau du lac Michigan. L'invasion d'eau de mer dans les eaux alimentant la ville de New York, invasion entraînée par l'élévation du niveau de la mer, pourrait mener à une demande de dérivation des eaux du lac Ontario.

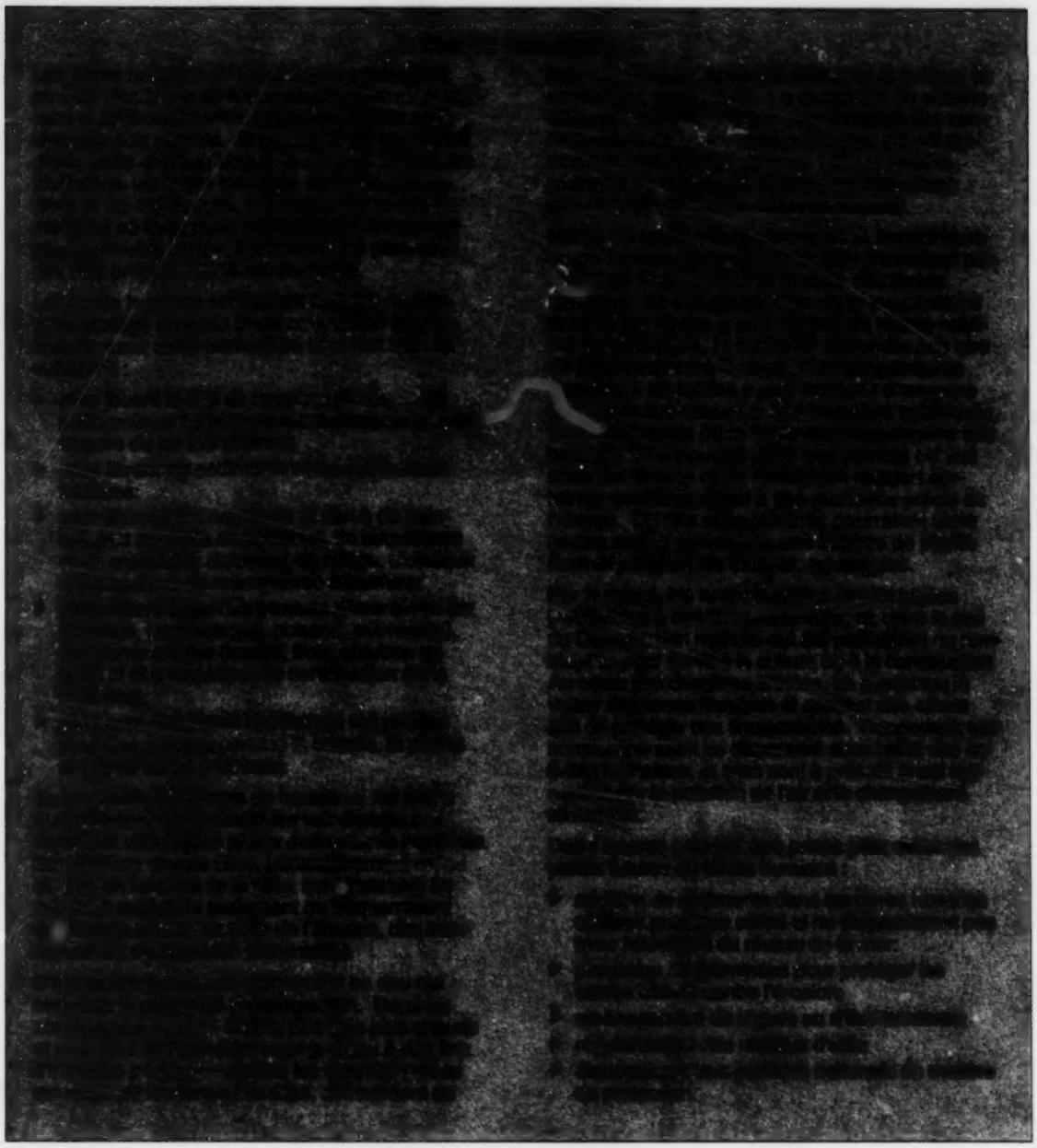
Côte de l'Atlantique

Une hausse du niveau de la mer y menacerait d'inondation les installations domiciliaires et industrielles et celles servant au transport dans les localités des basses terres côtières, comme Charlottetown. Les risques dans une zone donnée seraient plus ou moins élevés selon que les terres sont en cours de soulèvement ou d'affaissement. Par exemple, à l'heure actuelle, la Gaspésie se soulève tandis que Terre-Neuve s'affaisse.

L'élévation du niveau de la mer augmenterait la fréquence des inondations, particulièrement pendant les tempêtes. Les importantes marées de tempêtes et le débordement des rivières qui touchent actuellement Saint John, par exemple, tous les 100 ans, pourraient, à l'avenir, revenir aux 20 ans.

L'invasion d'eau salée pourrait contaminer les nappes d'eau souterraines (qui constituent la principale source d'alimentation en eau de la région),



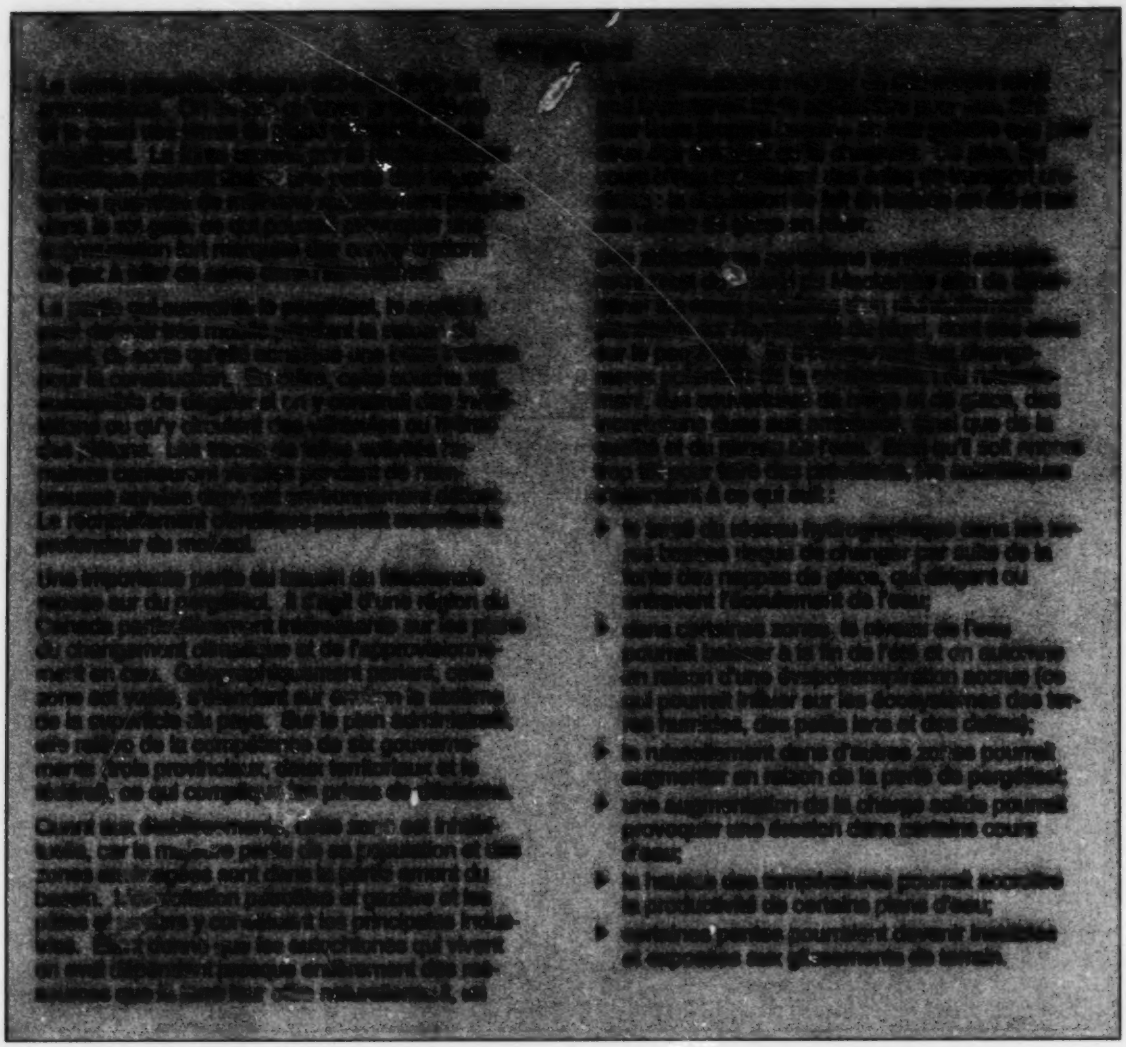


perturber les écosystèmes vulnérables des estuaires et provoquer le déplacement des populations de poissons d'eau douce. Toutefois, la pêche en eau douce et l'aquiculture pourraient bénéficier d'une plus longue saison grâce à la hausse de la température moyenne annuelle.

La hausse de la température de l'océan pourrait influer sur la répartition et la composition des populations de poissons, limitant certaines espèces et favorisant d'autres. Ces températures plus élevées réduiraient l'étendue de la glace de mer, mais certains scientifiques estiment qu'une plus importante accumulation de neige sur les calottes glaciaires et le prolongement des saisons plus clémentes aux limites de celles-ci pourraient favoriser le vêlage des glaciers. On n'a pas encore déterminé avec certitude quels seraient les effets d'une augmentation de la température sur la circulation océanique, les configurations des vagues et la fréquence des tempêtes tropicales.

Le Nord

Une élévation du niveau de la mer provoquerait aussi l'inondation des basses terres du nord du Canada, comme le delta du Mackenzie, ainsi que l'érosion du littoral, et modifierait les écosystèmes de cette zone. Toutefois, des températures plus élevées se traduiraient par une diminution de l'étendue et de la durée de la glace de mer, facilitant ainsi le transport par bateau dans le Grand Nord.



À l'intérieur des terres, les hivers plus doux et des étés plus longs raccourciraient la durée d'utilisation des routes de glace dans de nombreuses régions, réduisant ainsi l'accès aux localités éloignées et aux peuplements d'arbres exploitables. La fonte progressive du pergélisol situé plus au sud modifierait les configurations de drainage des eaux et déstabiliserait les terres, affectant les routes, les pipelines et les immeubles.

Une saison de croissance plus longue permettrait de pousser les limites actuelles des terres agricoles vers le nord, là où les sols et la teneur en humidité le permettraient. La forêt boréale serait plus productive dans le sud, mais son extension vers le nord serait restreinte par la pauvreté des sols et le lent dégel du pergélisol. Les hausses de températures encourageraient à la fois le tourisme et l'établissement.

Une augmentation prévue des précipitations, particulièrement en automne et en hiver, provoquerait une plus grande accumulation de neige, quoique au cours d'une saison plus courte, et des risques d'inondation sur de grandes superficies au printemps. Elle pourrait entraîner l'accroissement de réserves nettes d'eau dans les bassins versants du nord, donc le potentiel de production d'hydroélectricité. Par exemple, ce dernier pourrait augmenter de 15 % dans le nord du Québec.

Que pouvons-nous faire?

Les réponses varient selon les personnes.

Certains croient que, puisque nous ne connaissons pas exactement les effets sur le climat des changements qui se produiront dans l'atmosphère et la biosphère, nous ne pouvons prévoir les conséquences d'un réchauffement planétaire. Alors pourquoi se préoccuper d'un phénomène qui pourrait ne jamais arriver?

Selon d'autres, comme nous ne connaissons pas les répercussions sur l'approvisionnement en eau à l'échelle régionale, il est inutile de consacrer du temps et des ressources à une situation qui ne semble être qu'une éventualité.

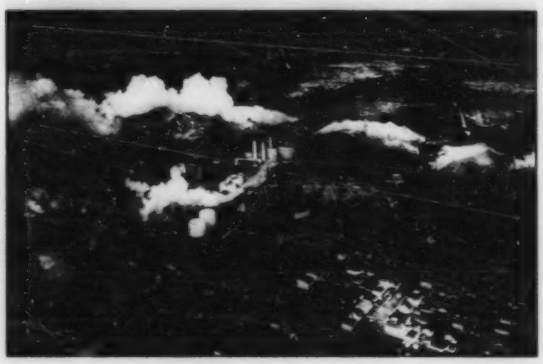
Les spécialistes ont recommandé deux stratégies générales :

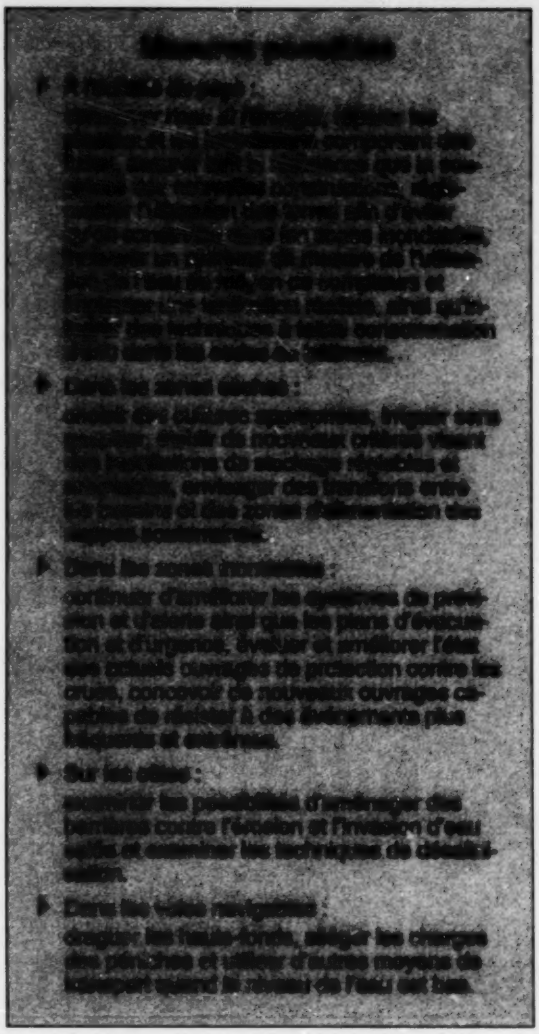
- prévenir ou *limiter* les causes du changement climatique, en réduisant la production de gaz à effet de serre et en créant plus de forêts;
- prévoir les changements et *s'y adapter* (à mesure de leur évolution) en quittant les basses côtes ou en plantant des cultures qui s'accommodent d'un climat plus chaud et sec, par exemple.

Il serait logique d'adopter ces deux stratégies. Même un effort concerté pour restreindre l'effet de serre ne permettra pas de contrer entièrement les changements du climat : il y a des décalages entre l'accumulation de gaz à effet de serre et les changements climatiques, ainsi qu'entre un changement climatique et ses effets sur les ressources naturelles. Ces décalages rendent d'autant plus important de réduire immédiatement les émissions de gaz à effet de serre, mais signifient aussi que nous devrons nous adapter à certains changements du climat.

Les mesures dites d'*adaptation* englobent des stratégies de conservation et d'amélioration de l'efficacité qui sont bénéfiques même si aucun changement climatique ne se produit. Parmi ces stratégies, mentionnons une utilisation plus parcimonieuse de l'eau, la rationalisation de la gestion des eaux à l'échelle régionale et l'implantation d'un régime réaliste de tarification de l'eau. On peut aussi prévoir une réévaluation des degrés de protection nécessaires contre les risques comme les inondations, les sécheresses et les feux de forêt. En outre, nous pouvons favoriser la conservation de l'énergie et l'emploi de sources d'énergie de remplacement, ce qui permettra aussi de *limiter* les changements climatiques futurs.

Nous avons d'autres raisons de gérer nos ressources en eau plus efficacement : tenir compte de leurs variations naturelles et satisfaire à la demande d'eau d'une population prenant rapidement de l'expansion. Une meilleure gestion nous aiderait aussi à nous préparer aux modifications du bilan hydrique mondial que pourraient entraîner les changements climatiques. De plus, une stratégie visant la conservation qualitative et quantitative de l'eau, ainsi que la réduction de la pollution atmosphérique, s'insère dans la logique environnementale, qu'il se produise ou non une «crise» climatique précise.





Pour obtenir de plus amples renseignements au sujet du changement climatique

Parmi les publications d'intérêt général, mentionnons les fiches d'information sur le changement climatique du Service de l'environnement atmosphérique, la collection Eau douce de Conservation et Protection (également d'Environnement Canada) et Les Grands Lacs en bref (The Centre for the Great Lakes, à Toronto). Le Sommaire du changement climatique et les Bulletins sur le CO_2 et le climat, publiés, dans les deux cas, par le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada, sont particulièrement utiles.

Bardecki, Michal J. 1991. «Wetlands and climate change: a speculative review». *Can. Water Resour. J.*, 16(1) : 9-22.

Pergélisol

Le terme pergélisol désigne des sols gelés en permanence. On estime qu'entre le cinquième et le quart des terres du globe reposent sur du pergélisol. La fonte causée par le réchauffement climatique pourrait libérer une partie des importantes quantités de méthane actuellement piégées dans le sol gelé, ce qui pourrait provoquer une augmentation fort marquée des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La partie qui surmonte le pergélisol, le mollisol, peut devenir très mobile pendant la saison du dégel, de sorte qu'elle constitue une base instable pour la construction. En outre, cette couche est susceptible de dégeler si on y construit des installations ou qu'y circulent des véhicules ou même des piétons. Les traces de telles activités humaines demeurent visibles pendant de nombreuses années dans cet environnement délicat. Le réchauffement climatique pourrait accroître la profondeur du mollisol.

Une importante partie du bassin du Mackenzie repose sur du pergélisol. Il s'agit d'une région du Canada particulièrement intéressante sur les plans du changement climatique et de l'approvisionnement en eau. Géographiquement parlant, cette zone est vaste, s'étendant sur environ le sixième de la superficie du pays. Sur le plan administratif, elle relève de la compétence de six gouvernements (trois provinciaux, deux territoriaux et le fédéral), ce qui complique les prises de décisions.

Quant aux établissements, cette zone est inhabituelle, car la majeure partie de sa population et des zones aménagées sont dans la partie amont du bassin. L'exploitation pétrolière et gazière et les pâtes et papiers y constituent les principales industries. Étant donné que les autochtones qui vivent en aval dépendent presque entièrement des ressources que la terre leur offre naturellement, un approvisionnement régulier en eau propre revêt une importance toute particulière pour eux, tant pour leurs propres besoins en eau potable que pour ceux des animaux qu'ils chassent. De plus, les cours d'eau constituent des voies de transport cruciales : la circulation se fait en bateau en été et sur des routes de glace en hiver.

Des scientifiques canadiens surveillent actuellement l'état du bassin du Mackenzie afin de déterminer les effets possibles d'un réchauffement planétaire sur l'hydrologie du Nord, dont ses effets sur le pergélisol. Ils s'intéressent aux changements potentiels de la configuration du ruissellement, des couvertures de neige et de glace, des inondations dues aux embâcles, ainsi que de la qualité et du niveau de l'eau. Bien qu'il soit encore trop tôt pour faire des prévisions, les scientifiques s'attendent à ce qui suit :

- le tracé du réseau hydrographique dans les terres basses risque de changer par suite de la fonte des nappes de glace, qui dirigent ou entravent l'écoulement de l'eau;
- dans certaines zones, le niveau de l'eau pourrait baisser à la fin de l'été et en automne en raison d'une évapotranspiration accrue (ce qui pourrait influer sur les écosystèmes des terres humides, des petits lacs et des deltas);
- le ruissellement dans d'autres zones pourrait augmenter en raison de la perte de pergélisol;
- une augmentation de la charge solide pourrait provoquer une érosion dans certains cours d'eau;
- la hausse des températures pourrait accroître la productivité de certains plans d'eau;
- certaines pentes pourraient devenir instables et exposées aux glissements de terrain.

A l'intérieur des terres, les hivers plus doux et des étés plus longs raccourciraient la durée d'utilisation des routes de glace dans de nombreuses régions, réduisant ainsi l'accès aux localités éloignées et aux peuplements d'arbres exploitables. La fonte progressive du pergélisol situé plus au sud modifierait les configurations de drainage des eaux et déstabiliserait les terres, affectant les routes, les pipelines et les immeubles.

Une saison de croissance plus longue permettrait de pousser les limites actuelles des terres agricoles vers le nord, là ou les sols et la teneur en humidité le permettraient. La forêt boréale serait plus productive dans le sud, mais son extension vers le nord serait restreinte par la pauvreté des sols et le lent dégel du pergélisol. Les hausses de températures encourageraient à la fois le tourisme et l'établissement.

Une augmentation prévue des précipitations, particulièrement en automne et en hiver, provoquerait une plus grande accumulation de neige, quoique au cours d'une saison plus courte, et des risques d'inondation sur de grandes superficies au printemps. Elle pourrait entraîner l'accroissement de réserves nettes d'eau dans les bassins versants du nord, donc le potentiel de production d'hydroélectricité. Par exemple, ce dernier pourrait augmenter de 15 % dans le nord du Québec.

Que pouvons-nous faire?

Les réponses varient selon les personnes.

Certains croient que, puisque nous ne connaissons pas exactement les effets sur le climat des changements qui se produiront dans l'atmosphère et la biosphère, nous ne pouvons prévoir les conséquences d'un réchauffement planétaire. Alors pourquoi se préoccuper d'un phénomène qui pourrait ne jamais arriver?

Selon d'autres, comme nous ne connaissons pas les répercussions sur l'approvisionnement en eau à l'échelle régionale, il est inutile de consacrer du temps et des ressources à une situation qui ne semble être qu'une éventualité.

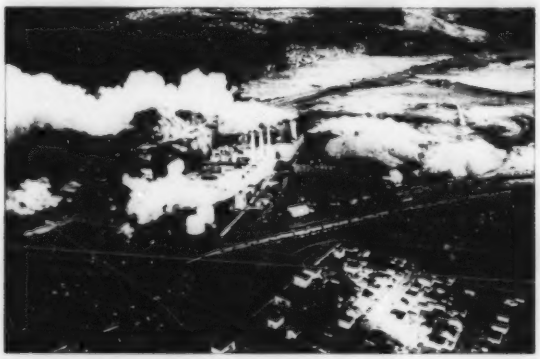
Les spécialistes ont recommandé deux stratégies générales :

- prévenir ou *limiter* les causes du changement climatique, en réduisant la production de gaz à effet de serre et en créant plus de forêts;
- prévoir les changements et *s'y adapter* (à mesure de leur évolution) en quittant les basses côtes ou en plantant des cultures qui s'accommodent d'un climat plus chaud et sec, par exemple.

Il serait logique d'adopter ces deux stratégies. Même un effort concerté pour restreindre l'effet de serre ne permettra pas de contrer entièrement les changements du climat : il y a des décalages entre l'accumulation de gaz à effet de serre et les changements climatiques, ainsi qu'entre un changement climatique et ses effets sur les ressources naturelles. Ces décalages rendent d'autant plus important de réduire immédiatement les émissions de gaz à effet de serre, mais signifient aussi que nous devrons nous adapter à certains changements du climat.

Les mesures dites d'*adaptation* englobent des stratégies de conservation et d'amélioration de l'efficacité qui sont bénéfiques même si aucun changement climatique ne se produit. Parmi ces stratégies, mentionnons une utilisation plus parcimonieuse de l'eau, la rationalisation de la gestion des eaux à l'échelle régionale et l'implantation d'un régime réaliste de tarification de l'eau. On peut aussi prévoir une réévaluation des degrés de protection nécessaires contre les risques comme les inondations, les sécheresses et les feux de forêt. En outre, nous pouvons favoriser la conservation de l'énergie et l'emploi de sources d'énergie de remplacement, ce qui permettra aussi de *limiter* les changements climatiques futurs.

Nous avons d'autres raisons de gérer nos ressources en eau plus efficacement : tenir compte de leurs variations naturelles et satisfaire à la demande d'eau d'une population prenant rapidement de l'expansion. Une meilleure gestion nous aiderait aussi à nous préparer aux modifications du bilan hydrique mondial que pourraient entraîner les changements climatiques. De plus, une stratégie visant la conservation qualitative et quantitative de l'eau, ainsi que la réduction de la pollution atmosphérique, s'insère dans la logique environnementale, qu'il se produise ou non une «crise» climatique précise.



Mesures possibles

- **À l'échelle du pays :**
  conserver l'eau et l'énergie, réparer les réseaux et les installations comportant des fuites, assurer tant la résistance que la souplesse des nouvelles constructions, réglementer l'utilisation des terres afin d'éviter qu'on construise dans les zones inondables, instaurer un système de mesure de l'utilisation de l'eau au moyen de compteurs et implanter une tarification réaliste, ainsi qu'intégrer des techniques à faible consommation d'eau dans les codes du bâtiment.
- **Dans les zones sèches :**
  choisir des cultures appropriées, irriguer sans gaspiller, établir de nouveaux critères visant des installations de stockage réglables et adaptables, envisager des transferts entre les bassins et des zones d'alimentation des nappes souterraines.
- **Dans les zones inondables :**
  continuer d'améliorer les systèmes de prévision et d'alerte ainsi que les plans d'évacuation et d'urgence, évaluer et améliorer l'état des actuels ouvrages de protection contre les crues, concevoir de nouveaux ouvrages capables de résister à des événements plus fréquents et extrêmes.
- **Sur les côtes :**
  examiner les possibilités d'aménager des barrières contre l'érosion et l'invasion d'eau salée et examiner les techniques de désalinisation.
- **Dans les voies navigables :**
  draguer les hauts-fonds, alléger les charges des péniches et utiliser d'autres moyens de transport quand le niveau de l'eau est bas.

Pour obtenir de plus amples renseignements au sujet du changement climatique

Parmi les publications d'intérêt général, mentionnons les fiches d'information sur le changement climatique du Service de l'environnement atmosphérique, la collection Eau douce de Conservation et Protection (également d'Environnement Canada) et Les Grands Lacs en bref (The Centre for the Great Lakes, à Toronto). Le Sommaire du changement climatique et les Bulletins sur le CO_2 et le climat, publiés, dans les deux cas, par le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada, sont particulièrement utiles.

Bardecki, Michal J. 1991. «Wetlands and climate change: a speculative review». *Can. Water Resour. J.*, 16(1) : 9-22.

Bolin, Bert, Bo Doos, Jill Jager et Richard Warwick (réd.). 1986. *The greenhouse effect, climatic change and ecosystems.* Chichester : Wiley.

Centre climatologique canadien et la National Oceanic and Atmospheric Administration des États-Unis. 1989. *Impacts of climate change on the Great Lakes Basin.* Downsview (Ont.), 210 pages.

Cohen, S.J. 1991. «Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin, Canada». *Climatic Change*, 19 : 291-317.

Cohen, S.J., L.E. Welsh et P.Y.T. Louie. 1989. *Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River Subbasin.* Centre climatologique canadien, rapport 89-9. Environnement Canada.

Environnement Canada. 1991. *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique*, préparé pour le Sommaire du changement climatique, Service de l'environnement atmosphérique, Conseil du Programme climatologique canadien, Sommaire du changement climatique 91-01 : 34 pages.

Gleick, P.H. 1989. «Climate, hydrology, and water resources». *Reviews of Geophysics*, 27 : 329-344.

Gouvernment du Canada. *L'état de l'environnement au Canada –1991.* Chapitres 22 et 26.

Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique. 1990. Version préliminaire du document «Stratégies d'adaptation au changement climatique». 25 avril 1990. Groupe de travail sur les stratégies d'adaptation de l'IPCC, Sous-groupe de l'exploitation et de la gestion des ressources, OMM/PNUE.

Hall, J. Peter. 1991. «How will the projected changes in Canada's climate affect the sustainability of forests?» *Winter Cities Symposium*, Sault Ste. Marie, 3 janvier 1991.

Hall, J.P. et L.W. Carlson. 1990. *Forestry Canada's perspectives on climate change.* Dep. Geogr. Publ. Ser. Occasional Paper No.11. University of Waterloo, Waterloo (Ontario).

Harrington, J.B. 1987. «Climatic change : a review of causes». *Can. J. Forest Res.*, 17(11) : 1313-1339.

Hengeveld, H. 1991. *Comprendre l'atmosphère en évolution. Revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone.* Rapport EDE n° 91-2. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.

Houghton, J.T., G.J. Jenkins et J.J. Ephraums (réd.). 1990. *Climate change: the IPCC scientific assessment.* Cambridge University Press.

Lane, P. 1988. *Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard.* Sommaire du changement climatique 88-02, Environnement Canada.

Lewis, G.D., D. Milburn et A. Smart. 1992. «The challenge of interjurisdictional water management in the Mackenzie River basin». *Can. Water Resour. J.*, 16(4) : 381-390.

Lewis, J.E. 1989. «Climatic change and its effects on water resources for Canada : a review». *Can. Water Resour. J.*, 14 : 34-55.

Sinclair, Jan. 1991. «Le réchauffement global de la planète : un cercle vicieux». *Notre planète. Revue du Programme des Nations Unies pour l'environnement*, 3(1) : 4-7.

Wall, G. et M. Sanderson (réd.). 1990. *Proceedings of an International Symposium/Workshop on Climate Change: Implications for Water and Ecological Resources.* Department of Geography Publication Series, Occasional Paper No.11, University of Waterloo, 342 pages.

Plongez-vous dans ce fascinant sujet!

Une initiative du Plan vert du Canada, l'écocivisme vise l'émergence d'une société où les individus et les groupes possèdent des connaissances et des valeurs qui les aideront à agir dans l'intérêt de l'environnement. La collection Eau douce a pour objectif de fournir des connaissances de base sur les questions et les préoccupations relatives à l'eau au Canada. Pour obtenir un complément d'information, veuillez écrire ou téléphoner au bureau d'Environnement Canada le plus près de chez vous ou encore vous adresser à :

Informathèque
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 3H3

Tél. : (819) 997-2800
1-800-668-6767 (sans frais)
Téléc. : (819) 953-2225

Available in English upon request

Ce document peut être reproduit à des fins éducatives; prière d'inclure une mention faisant référence à Environnement Canada.

Novembre 1992

Imprimé sur du papier contenant des rebuts récupérés

Conception : Le Groupe Ove Design, Ottawa

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Ministre des Approvisionnements et Services, Canada, 1992
N° de cat. En 37-81/1-1992F
ISBN 0-662-96306-7